

# Cours, Travaux Dirigés, Travaux Pratiques et Devoirs Surveillés de Sciences Physiques Physique Appliquée

---

*Quelques exemples d'activités*

par Sébastien CELLES

---

Lycée Raoul DAUTRY  
14, rue Puy Imbert  
87000 LIMOGES





Copyright © 2005-2006 Sébastien CELLES. Tous droits réservés.

Ce document est libre ; vous pouvez le redistribuer et/ou le modifier selon les termes de la licence publique générale de GNU publiée par la Free Software Foundation (version 2 ou tout autre version ultérieure choisie par vous)

Ce document est diffusé en espérant qu'il sera utile, mais SANS AUCUNE GARANTIE, ni explicite ni implicite, y compris les garanties de commercialisation ou d'adaptation dans un but spécifique.  
Reportez-vous à la licence publique générale de GNU pour plus de détails.

Vous devez avoir reçu une copie de la licence publique générale de GNU en même temps que ce document. Si ce n'est pas le cas, écrivez à la Free Software Foundation, Inc., 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307, États-Unis.

Copyright © 2005-2006 Sébastien CELLES. All rights reserved.

This document is free; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or (at your option) any later version.

This document is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program; if not, write to the Free Software Foundation, Inc., 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA.

Ce document est réalisé avec L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X2e<sup>1</sup>.

## Obtenir une copie de ce document

Vous pouvez obtenir une copie de ce document au format .pdf Acrobat Reader sur :

- <http://s.cls.free.fr/wikini/wakka.php?wiki=Enseignement>
- [http://svn.berlios.de/wsvn/openphysic/doc\\_classe\\_latex\\_phys\\_ch\\_ph/pdf/main\\_dvips\\_suite\\_2.pdf](http://svn.berlios.de/wsvn/openphysic/doc_classe_latex_phys_ch_ph/pdf/main_dvips_suite_2.pdf) pour le document réduit en 2 pages en 1
- [http://svn.berlios.de/wsvn/openphysic/doc\\_classe\\_latex\\_phys\\_ch\\_ph/pdf/main.pdf](http://svn.berlios.de/wsvn/openphysic/doc_classe_latex_phys_ch_ph/pdf/main.pdf) pour le document non réduit

## Obtenir les fichiers L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X2e par Subversion pour les modifier

Il est possible d'obtenir les fichiers L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X2e à l'aide du gestionnaire de version Subversion<sup>2</sup>.

### Accès web

[http://svn.berlios.de/viewcvs/openphysic/doc\\_classe\\_latex\\_phys\\_ch\\_ph](http://svn.berlios.de/viewcvs/openphysic/doc_classe_latex_phys_ch_ph)

### Accès anonyme

`svn checkout svn://svn.berlios.de/openphysic/doc_classe_latex_phys_ch_ph`

### Accès développeur

`svn checkout svn+ssh://sc1s19fr@svn.berlios.de/svnroot/repos/openphysic/.../doc_classe_latex_phys_ch_ph`

## Compiler le document

Pour compiler ce document, il est nécessaire d'installer une distribution de L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X2e comme teTeX<sup>3</sup> ou Miktex<sup>4</sup>.

Pour éditer les fichiers .tex, on peut utiliser un éditeur spécialisé pour L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X comme TeXnicCenter<sup>5</sup> ou Kile<sup>6</sup>. On peut aussi utiliser un éditeur de texte généraliste comme GNU Emacs<sup>7</sup>.

Dans un environnement GNU/Linux ou Cygwin<sup>8</sup> comportant GNU Make<sup>9</sup> il suffit de taper :

- `make view-ps` pour obtenir un fichier PostScript .ps
- `make view-ps-2` pour obtenir un fichier PostScript .ps avec une réduction 2 pages en 1
- `make view-pdf` pour obtenir un fichier Acrobat Reader .pdf
- `make view-pdf-2` pour obtenir un fichier Acrobat Reader .pdf avec une réduction 2 pages en 1

---

<sup>1</sup><http://www.latex-project.org>

<sup>2</sup><http://subversion.tigris.org>

<sup>3</sup><http://www.tug.org/texlive>

<sup>4</sup><http://www.miktex.org>

<sup>5</sup><http://www.toolscenter.org>

<sup>6</sup><http://kile.sourceforge.net>

<sup>7</sup><http://www.gnu.org/software/emacs/emacs.html>

<sup>8</sup><http://www.cygwin.com>

<sup>9</sup><http://www.gnu.org/software/make>

# Table des matières

<b>Seconde option PCL - Partie Physique</b>	<b>6</b>
<b>I Courant et tension électrique</b>	<b>9</b>
1 Circuit électrique - Courant et tension électrique	11
2 TP : Propriétés des intensités et des tensions	19
3 Fiche de procédure pour la réalisation de montages électriques	21
4 TP : Détermination de la caractéristique $U = f(I)$ aux bornes d'un résistor	23
5 TP : Association de conducteurs ohmiques	25
6 TP : Puissance et énergie consommée par un dipôle électrique	27
<b>II Optique géométrique</b>	<b>29</b>
1 TP : Réflexion - Réfraction	31
2 Les lentilles minces	33
3 Constructions géométriques pour les lentilles minces convergentes et divergentes	41
4 TP : Relations de conjugaison des lentilles minces	43
5 TP : La loupe	45
6 Interrogation optique - Lentilles minces	47
7 Devoir Surveillé	49
8 TP : Focométrie des lentilles minces	51
<b>III Mécanique</b>	<b>55</b>
1 TP : Étude du poids d'un corps	57
2 TP : Étude de la tension d'un ressort	59
3 TP : Étude de la poussée d'Archimède	61
4 TP : Étude de l'équilibre d'un solide soumis à l'action de 3 forces	63
5 Divers rapporteurs pour la Physique	65
6 TP : Moment d'une force par rapport à un axe	67
7 TP : Poulies et palans	69
<b>Première Scientifique - Partie Physique</b>	<b>71</b>
<b>I Intéractions fondamentales</b>	<b>73</b>
1 Les particules élémentaires	75
2 Les interactions fondamentales	79

<b>3 L'électroscope</b>	<b>83</b>
<b>II Vitesses et mouvements</b>	<b>93</b>
<b>1 Vitesse et mouvement</b>	<b>95</b>
<b>2 TP : Mouvement d'un solide - Vecteur vitesse</b>	<b>101</b>
<b>3 Quelques exemples de mouvements</b>	<b>103</b>
<b>4 TP : Mesures de vitesses angulaires</b>	<b>107</b>
<b>5 TP : Nature d'un mouvement</b>	<b>109</b>
<b>III Forces</b>	<b>111</b>
<b>1 Les forces</b>	<b>113</b>
<b>2 TP : Étude du poids d'un corps, de la tension d'un ressort et de la poussée d'Archimède</b>	<b>117</b>
<b>3 TP : Étude de l'équilibre d'un solide</b>	<b>121</b>
<b>4 Divers rapporteurs pour la Physique</b>	<b>123</b>
<b>IV Lois de Newton</b>	<b>125</b>
<b>1 Les lois de Newton</b>	<b>127</b>
<b>2 TP : Vérification expérimentale de la deuxième loi de Newton avec un mobile auto-porteur</b>	<b>131</b>
<b>3 TP : Vérification expérimentale de la deuxième loi de Newton dans le cas d'une trajectoire parabolique</b>	<b>133</b>
<b>V Travail d'une force</b>	<b>135</b>
<b>1 Travail d'une force</b>	<b>137</b>
<b>VI Énergie cinétique</b>	<b>141</b>
<b>1 Énergie cinétique</b>	<b>143</b>
<b>2 Énergie cinétique</b>	<b>145</b>
<b>3 TP : Théorème de l'énergie cinétique</b>	<b>147</b>
<b>VII Énergie mécanique</b>	<b>149</b>
<b>1 Énergie potentielle</b>	<b>151</b>
<b>2 TP : Énergie mécanique d'un mobile sur un aérobanc</b>	<b>155</b>
<b>VIII Transferts thermiques</b>	<b>157</b>
<b>1 Les transferts d'énergie</b>	<b>159</b>
<b>2 TP : Transferts thermiques - Capacité thermique d'un calorimètre et ses accessoires</b>	<b>161</b>
<b>3 TP : Mesure de la capacité thermique massique d'un métal</b>	<b>163</b>

<b>4 TP : Détermination de <math>L_f</math> la chaleur latente de fusion de la glace</b>	<b>165</b>
<b>5 La balance METTLER P1200</b>	<b>167</b>
<b>IX Électricité</b>	<b>169</b>
<b>1 Quelques rappels d'Électricité en courant continu</b>	<b>171</b>
<b>2 Fiche de procédure pour la réalisation de montages électriques</b>	<b>175</b>
<b>3 Générateurs et récepteurs</b>	<b>177</b>
<b>4 TP : Caractéristique d'une pile</b>	<b>185</b>
<b>5 TP : Étude d'un électrolyseur</b>	<b>187</b>
<b>X Optique géométrique</b>	<b>189</b>
<b>1 Les bases de l'optique géométrique</b>	<b>191</b>
<b>2 Miroir plan</b>	<b>193</b>
<b>3 Les lentilles minces</b>	<b>199</b>
<b>4 Constructions géométriques pour les lentilles minces convergentes et divergentes</b>	<b>207</b>
<b>5 TP : Relations de conjugaison des lentilles minces</b>	<b>209</b>
<b>6 TP : Focométrie des lentilles minces</b>	<b>211</b>
<b>XI Électromagnétisme</b>	<b>215</b>
<b>1 TP : Mesures de champs magnétiques avec un teslamètre</b>	<b>217</b>
<b>2 TP : Bobines de Helmholtz</b>	<b>219</b>
<b>3 TP : Force de Laplace</b>	<b>221</b>
<b>4 TP : Force de Lorentz</b>	<b>223</b>
<b>XII Devoir Surveillé</b>	<b>225</b>
<b>1 Devoir Surveillé n° 1</b>	<b>227</b>
<b>2 Devoir Surveillé n° 2</b>	<b>231</b>
<b>Première Scientifique - Partie Chimie</b>	<b>233</b>
<b>I Grandeur physiques et quantité de matière</b>	<b>235</b>
<b>1 TP : Préparations de solutions aqueuses</b>	<b>237</b>
<b>2 TP : Détermination du volume molaire gazeux</b>	<b>239</b>
<b>3 TP : Suivi d'une transformation chimique par mesure de pression</b>	<b>241</b>
<b>II Solutions électrolytiques</b>	<b>243</b>
<b>1 TP : Concentrations molaires effectives d'ions en solution</b>	<b>245</b>

<b>III Conductimétrie</b>	<b>247</b>
1 TP : Détermination par conductimétrie de la concentration en soluté d'une solution ionique	249
2 TP : Étude de la conductivité molaire d'une solution ionique	251
<b>Terminale STL Biochimie</b>	<b>253</b>
<b>I Courant et tension électrique</b>	<b>255</b>
1 Circuit électrique - Courant et tension électrique	257
2 TP : Propriétés des intensités et des tensions	265
3 Fiche de procédure pour la réalisation de montages électriques	267
4 TP : Détermination de la caractéristique $U = f(I)$ aux bornes d'un résistor	269
5 TP : Association de conducteurs ohmiques	271
<b>II Générateurs et récepteurs</b>	<b>273</b>
1 Générateurs et récepteurs	275
2 TP : Caractéristique d'une pile	283
3 TP : Étude d'un électrolyseur	285
<b>III Électrostatique</b>	<b>287</b>
1 Champ électrique et force électrostatique	289
<b>IV Electrochimie</b>	<b>293</b>
1 TP : Étude de piles	295
<b>V Radioactivité</b>	<b>297</b>
1 TP : Utilisation d'un compteur C.R.A.B.	299
2 Devoir Surveillé	303
<b>VI La lumière</b>	<b>305</b>
1 La lumière	307
<b>VII Spectroscopie</b>	<b>311</b>
1 Spectroscopie - Niveaux d'énergie dans les atomes	313
<b>VIII Rayons X</b>	<b>317</b>
1 Rayons X	319

<b>IX Électromagnétisme</b>	<b>323</b>
1 Champ magnétique	325
2 Loi de Laplace	329
3 Induction électromagnétique	333
 <b>X Électricité en régime sinusoïdal</b>	 <b>337</b>
1 Les régimes sinusoïdaux	339
 <b>Première STI Génie Électrotechnique</b>	 <b>345</b>
 <b>I Amplificateur Opérationnel</b>	 <b>347</b>
1 TP : Amplificateur Opérationnel en régime linéaire	349
2 TP : Évaluation : Amplificateur opérationnel en régime linéaire	353
 <b>II Régimes variables</b>	 <b>355</b>
1 TP : Utilisation d'un Générateur Basse Fréquence (G.B.F.) et d'un oscilloscope	357
2 Visualisation à l'aide d'un oscilloscope d'une tension délivrée par un Générateur Basse Fréquence	359
3 Grandeurs périodiques	363
4 Régimes transitoires	371
 <b>III Régimes sinusoïdaux</b>	 <b>379</b>
1 Régimes sinusoïdaux	381
2 Dipôles linéaires élémentaires en régime sinusoïdal	385
3 Association série de dipôles en régime sinusoïdal - Résonance	389
4 Puissances en régime sinusoïdal	395
5 TP : Mesures de puissance et de facteur de puissance en monophasé	401
 <b>Mathématiques Supérieures PCSI</b>	 <b>403</b>
 <b>I Optique géométrique</b>	 <b>405</b>
1 TP : Lunette - Collimateur	407
2 Étude d'un prisme	411
3 TP : Mesure d'un angle d'un prisme	415
4 TP : Mesure de l'indice d'un prisme	417
5 TP : Goniomètre - Dispersion d'un prisme - Détermination d'une longueur d'onde inconnue	419

---

<b>Annexes</b>	<b>421</b>
<b>I Documents divers</b>	<b>423</b>
A Fiche élève	425
B Quelques conseils pour bien travailler	427
C Rédiger un compte-rendu de Travaux Pratiques	429
D Documents divers pour les Sciences Physiques	431
E Oscillogrammes	433
F Tensions sinusoïdales (monophasé)	435
G Systèmes triphasés	437
<b>II Devoir Surveillé</b>	<b>439</b>
A Devoir Surveillé n°	441

Seconde  
option Physique et Chimie  
de Laboratoire  
Partie Physique



# Courant et tension électrique



# Circuit électrique

## Courant et tension électrique

### I. Circuit électrique

#### A. Comment réaliser un circuit électrique ?

##### 1. Matériels

Pour réaliser un circuit électrique il faut au moins :

1. ....
2. ....
3. ....
4. ....



##### 2. Rôle des éléments du circuit

Le générateur est .....

Le récepteur ..... l'énergie électrique en :

- .....
- .....
- .....
- .....

Les fils de liaison permettent .....

#### B. Vocabulaire

- Un dipôle .....

- Un nœud .....
  - .....
  - Un circuit est constitué de plusieurs .....

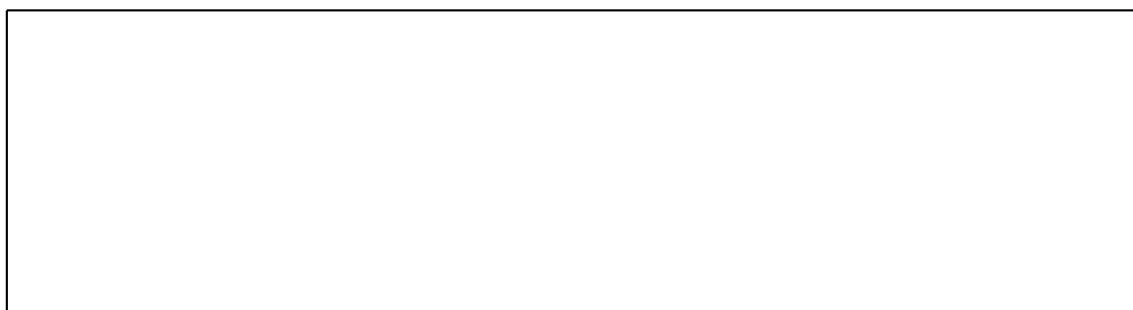
## II. Le courant électrique

## A. Nature du courant électrique

Dans un conducteur électrique, le courant électrique est constitué par un déplacement .....

La mise en mouvement est réalisée par le ..... .

Dans les électrolytes, les porteurs de charges sont .....:



Le sens conventionnel du courant est le sens ..... de celui des électrons, donc de la borne ..... à la borne - à l'extérieur du générateur.

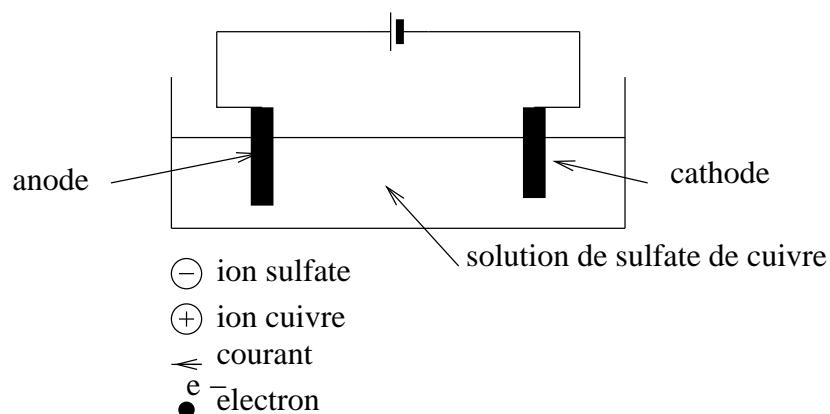


FIG. 1 – Double migration des ions

Indiquez sur le schéma ci-dessus le sens de déplacement des électrons, du courant et des ions.

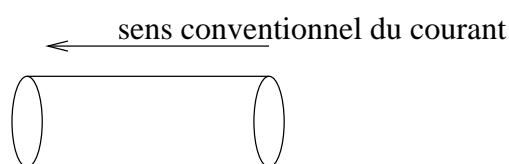


FIG. 2 – Le courant électrique dans une section de circuit  
 Ajoutez sur ce schéma les électrons responsables du courant ainsi que leur sens de déplacement.

L'intensité du courant électrique est la quantité d'électricité (charge électrique) qui traverse une section du circuit pendant une unité de temps.

•  $Q$  : .....

•  $t$  : .....

•  $I$  : .....

La charge d'un électron est de .....

## B. Mesure

L'intensité d'un courant se mesure à l'aide

• .....

• ou .....

Pour mesurer l'intensité du courant traversant le circuit il faut brancher cet appareil

.....

Afin de ne pas perturber le montage, la résistance interne de cet appareil .....

On utilise les bornes ..... et .....

Le courant électrique doit rentrer par la borne .....

Il doit sortir par la borne .....

On doit toujours placer le sélecteur de l'appareil sur le calibre .....

Ensuite, on ..... le calibre sans que l'intensité du courant mesurée ne dépasse la valeur de ce calibre.



Lorsqu'on dessine le montage on ne doit pas oublier de préciser les bornes des appareils de mesure.

## III. La tension électrique

### A. Introduction

La tension électrique est également appelée différence de .....

Un potentiel électrique s'exprime .....



La tension  $U_{AB}$  est la différence de potentiel entre les points  $A$  et  $B$ .

.....

On représente la tension  $U_{AB}$  par une flèche de ..... vers .....

ATTENTION ! Le sens de la flèche représentant la tension  $U_{AB}$  est ..... au sens de la flèche représentant le vecteur  $\vec{AB}$

On remarque que comme  $U_{BA} = V_B - V_A$  et que  $U_{AB} = V_A - V_B$  on a :

.....

## B. Mesure

La tension électrique se mesure à l'aide

- .....
- ou .....

Pour mesurer une tension électrique entre 2 points d'un circuit il faut brancher cet appareil

.....

Afin de ne pas perturber le montage, la résistance interne de cet appareil .....

On utilise les bornes ..... et .....

Afin de mesurer une tension positive on branche :

- la borne ... sur le potentiel le plus élevé.
- la borne ..... sur le potentiel le plus faible.

On doit toujours placer le sélecteur de l'appareil sur le calibre .....

Ensuite, on ..... le calibre sans que la tension mesurée ne dépasse la valeur de ce calibre.

## IV. Montages en série et en dérivation

### A. Montage en série

#### 1. Mesure des courants dans le circuit

Dessinez dans le cadre ci-dessous un montage comportant un générateur de tension continu de tension à vide  $E = 10 V$ , 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  associées en série et trois ampèremètres.

Un ampèremètre doit mesurer le courant  $I_G$  qui sort du générateur.

Un autre ampèremètre doit mesurer le courant  $I_1$  qui sort de la résistance  $R_1$ .

Un autre ampèremètre doit mesurer le courant  $I_2$  qui sort de la résistance  $R_2$ .

Quelle relation existe-t'il entre  $I_G$ ,  $I_1$ , et  $I_2$  ?

.....

.....

.....

#### 2. Mesure des tensions aux bornes des dipôles du circuit

Dessinez dans le cadre ci-dessous un montage comportant un générateur de tension continu de tension à vide  $E = 10 V$ , 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  associées en série et trois voltmètres.

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_G$  aux bornes du générateur.

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_1$  aux bornes de la résistance  $R_1$ .

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_2$  aux bornes de la résistance  $R_2$ .

Quelle relation existe-t'il entre  $U_G$ ,  $U_1$ , et  $U_2$  ?

.....

.....

.....

## B. Montage en dérivation

### 1. Mesure des courants dans le circuit

Dessinez dans le cadre ci-dessous un montage comportant un générateur de tension continu de tension à vide  $E = 10 \text{ V}$ , 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  associées en parallèle et trois ampèremètres.

Un ampèremètre doit mesurer le courant  $I_G$  qui sort du générateur.

Un autre ampèremètre doit mesurer le courant  $I_1$  qui sort de la résistance  $R_1$ .

Un autre ampèremètre doit mesurer le courant  $I_2$  qui sort de la résistance  $R_2$ .



Quelle relation existe-t'il entre  $I_G$ ,  $I_1$ , et  $I_2$  ?

.....

.....

.....

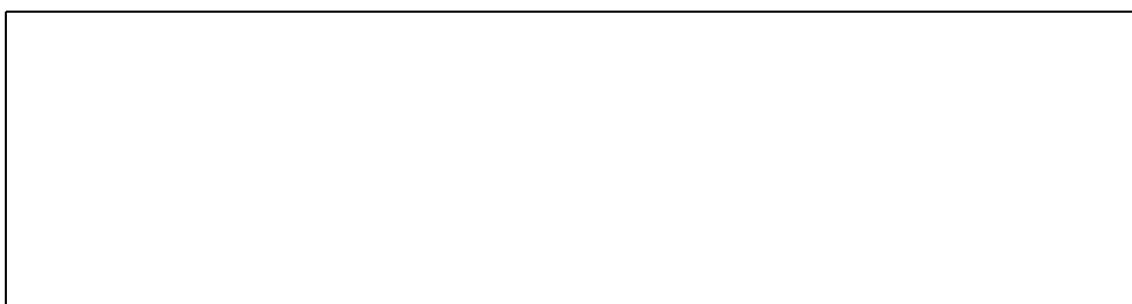
### 2. Mesure des tensions aux bornes des dipôles du circuit

Dessinez dans le cadre ci-dessous un montage comportant un générateur de tension continu de tension à vide  $E = 10 \text{ V}$ , 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  associées en dérivation et trois voltmètres.

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_G$  aux bornes du générateur.

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_1$  aux bornes de la résistance  $R_1$ .

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_2$  aux bornes de la résistance  $R_2$ .



Quelle relation existe-t'il entre  $U_G$ ,  $U_1$ , et  $U_2$  ?

.....

.....

.....

## V. Lois relatives aux réseaux électriques

### A. Loi des noeuds

.....

La somme des intensité des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en sortent.

### B. Additivité des tensions

.....

.....

.....

.....

.....

.....

### C. Loi des mailles

- On flèche les courants dans le circuit ainsi que les tensions
- .....
- .....
- .....
- On tourne le long de la maille en appliquant la règle suivante :
  - Si la flèche de la tension est dans le même sens que le sens de parcours de la maille on met un signe +
  - Si la flèche de la tension est dans le sens opposé au sens de parcours de la maille on met un signe -
- Une fois que l'on a fait le tour de la maille on est revenu au point de départ donc la différence de potentiel est nulle.

*Exemple 1 :*

*Exemple 2 :*

#### **D. Loi de Pouillet**

# TP : Propriétés des intensités et des tensions

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Objectifs

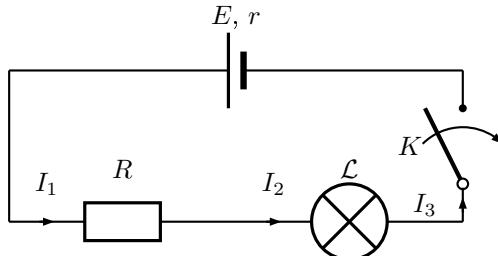
- Réaliser un schéma de montage où figurent les appareils de mesure (ampèremètre, voltmètre) et leurs bornes
- Étude des propriétés de l'intensité d'un courant dans un circuit électrique
- Étude des propriétés de la tension dans un circuit électrique

## Matériel

- générateur 6-12 V réglable
- 3 multimètres
- 2 lampes de tension nominale 6 V
- $R = 10 \Omega$ ;  $R_1 = 180 \Omega$ ;  $R_2 = 270 \Omega$
- 1 bouton poussoir

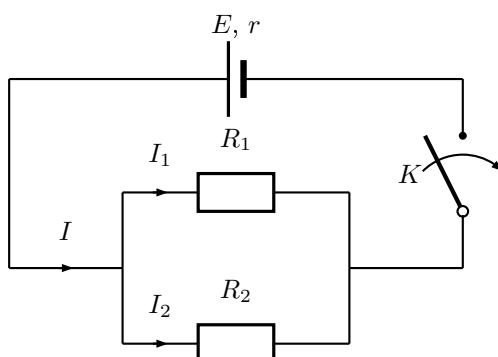
## I. Étude de l'intensité

### A. Circuit série



1. Faire un schéma de montage pour chaque cas permettant la :
  - (a) Mesure de  $I_1$
  - (b) Mesure de  $I_2$
  - (c) Mesure de  $I_3$
2. Faire le montage permettant la mesure de  $I_1$ . Faire vérifier le montage. Mesurer  $I_1$ .
3. Faire le montage permettant la mesure de  $I_2$ . Faire vérifier le montage. Mesurer  $I_2$ .
4. Faire le montage permettant la mesure de  $I_3$ . Faire vérifier le montage. Mesurer  $I_3$ .
5. Conclure.

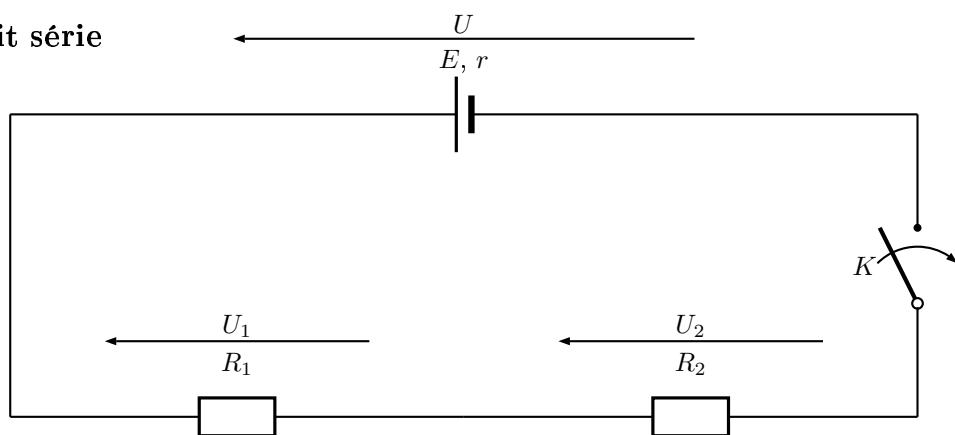
### B. Circuit dérivation



1. Faire un schéma de montage permettant de mesurer  $I$ ,  $I_1$  et  $I_2$ .
2. Réaliser le montage. Faire vérifier le montage.
3. Mesurer  $I$ ,  $I_1$  et  $I_2$ .
4. Conclure.

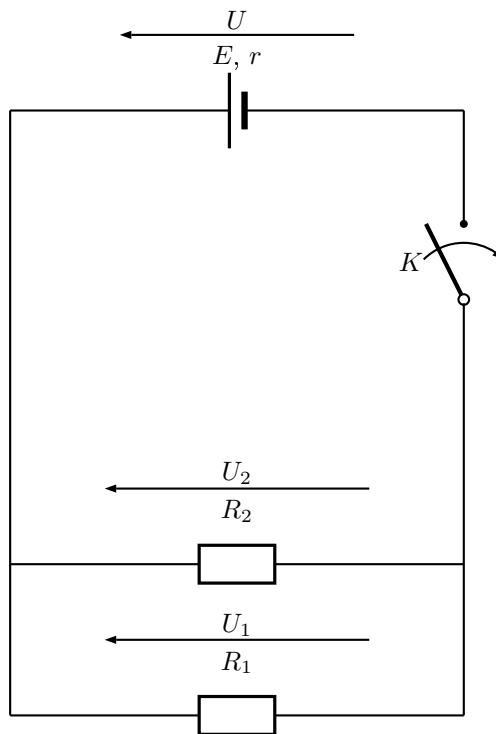
## II. Étude de la tension

### A. Circuit série



1. Faire un schéma de montage permettant de mesurer  $U$ ,  $U_1$  et  $U_2$ .
2. Réaliser le montage. Faire vérifier le montage.
3. Mesurer  $U$ ,  $U_1$  et  $U_2$ .
4. Conclure.

### B. Circuit dérivation



1. Faire un schéma de montage permettant de mesurer  $U$ ,  $U_1$  et  $U_2$ .
2. Réaliser le montage. Faire vérifier le montage.
3. Mesurer  $U$ ,  $U_1$  et  $U_2$ .
4. Conclure.

# Fiche de procédure pour la réalisation de montages électriques

**À appliquer tout le temps !**

- Lire le schéma électrique, prendre connaissance du nombre de dipôles qui le constitue.
- Utiliser les fils rouges du côté de la borne + du générateur et les fils noirs du côté de la borne -.
- Réaliser le montage en partant de la borne + du générateur en se souciant d'abord de la boucle principale. On doit brancher à ce moment les ampèremètres car ils sont en série avec les autres dipôles. On **ne doit pas encore** brancher les voltmètres car ils sont en dérivation.
- Si le montage comporte plusieurs dérivations (boucles), réaliser le montage des dérivations autres que la boucle principale.
- Brancher **maintenant** les voltmètres (car ils sont en dérivation)
- Souvent, dans le montage, par souci de précaution, on insère un bouton poussoir (ou un interrupteur noté  $K$ ).
- Les multimètres (en fonction ampèremètre ou en fonction voltmètre) doivent être correctement branchés (bornes) et correctement réglés (fonction, calibre) : voir « Utilisation du multimètre ».

Le multimètre est un appareil coûteux et fragile. Une mauvaise manipulation peut le détériorer. En l'absence de consignes du professeur, on doit toujours utiliser le calibre le plus élevé.

Il faudra éventuellement affiner la mesure en basculant vers un calibre inférieur au plus gros initialement choisi afin d'obtenir une mesure plus précise.

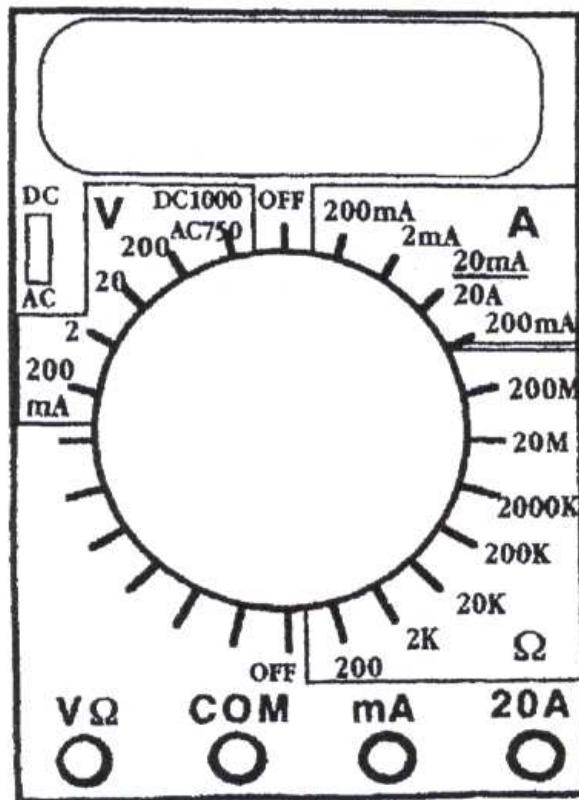
**Erreurs de branchements :** ne jamais placer un ampèremètre en dérivation seul (car l'ampèremètre de résistance interne quasi nulle est équivalent à un fil et court-circuite une partie du montage)

- Appeler discrètement le professeur pour vérification du montage.
- Après vérification par le professeur qui allumera l'alimentation on pourra fermer l'interrupteur (ou appuyer sur le bouton poussoir).
- Faire la ou les mesures.
- Ouvrir l'interrupteur  $K$  (ou relâcher le bouton poussoir).
- Éteindre le générateur.
- Éteindre les multimètres.

Ne jamais brancher le générateur seul dans une boucle (c'est à dire sans résistance électrique pour le protéger) car il est alors en court-circuit et risque d'être détruit.

Ne jamais toucher au montage lorsqu'il est sous tension !

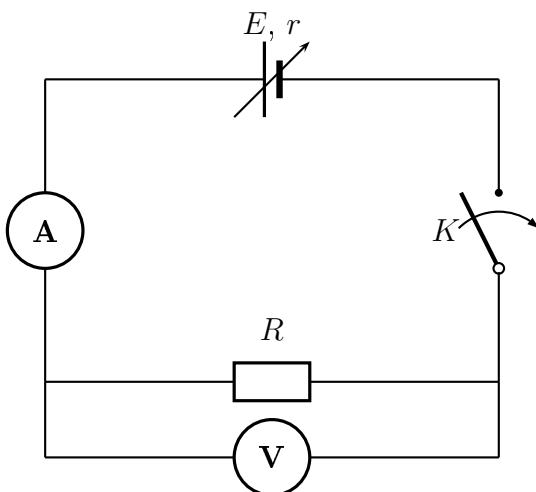
# Utilisation du multimètre



- L'appareil peut être utilisé en **voltmètre** : branchement à la borne  $V/\Omega$ . Mesure de la **tension électrique** en volts  $V$  ou sous-multiples.
- L'appareil peut être utilisé en **ohmmètre** : branchement à la borne  $V/\Omega$ . Mesure de la **résistance électrique** en ohms  $\Omega$  ou sous-multiples.
- L'appareil peut être utilisé en **ampèremètre** : branchement à la borne  $A$ . Mesure de l'**intensité électrique** en ampères  $A$ .
- L'appareil peut être utilisé en **milliampèremètre** : branchement à la borne  $mA$ . Mesure de l'**intensité électrique** en milliampères  $mA$  ou en microampères  $\mu A$ .
- La borne  $COM$  est la référence. Elle est toujours branchée directement ou indirectement à la borne - du générateur.
- L'une des trois autres bornes du multimètre est toujours branchée à la borne + du générateur.
  - On place la molette en face du cadran qui correspond :
    - à la bonne fonction (ampèremètre, voltmètre, ...)
    - au bon calibre
  - Par précaution, on commence toujours une mesure en se positionnant sur le calibre le plus grand (possibilité de mesurer les grandes valeurs sans saturer l'appareil ou risquer de le détériorer). Si la lecture est trop peu précise ou indique une valeur presque nulle, on change de calibre et on choisit celui qui est immédiatement plus petit. Et ainsi de suite jusqu'à ce que la valeur lue soit d'une précision suffisante.
- On se place sur une position correspondant au sigle **DC** ou = si la mesure concerne un courant continu.
- On se place sur une position correspondant au sigle **AC** ou  $\sim$  si la mesure concerne un courant alternatif.

# TP : Détermination de la caractéristique $U = f(I)$ aux bornes d'un résistor

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....



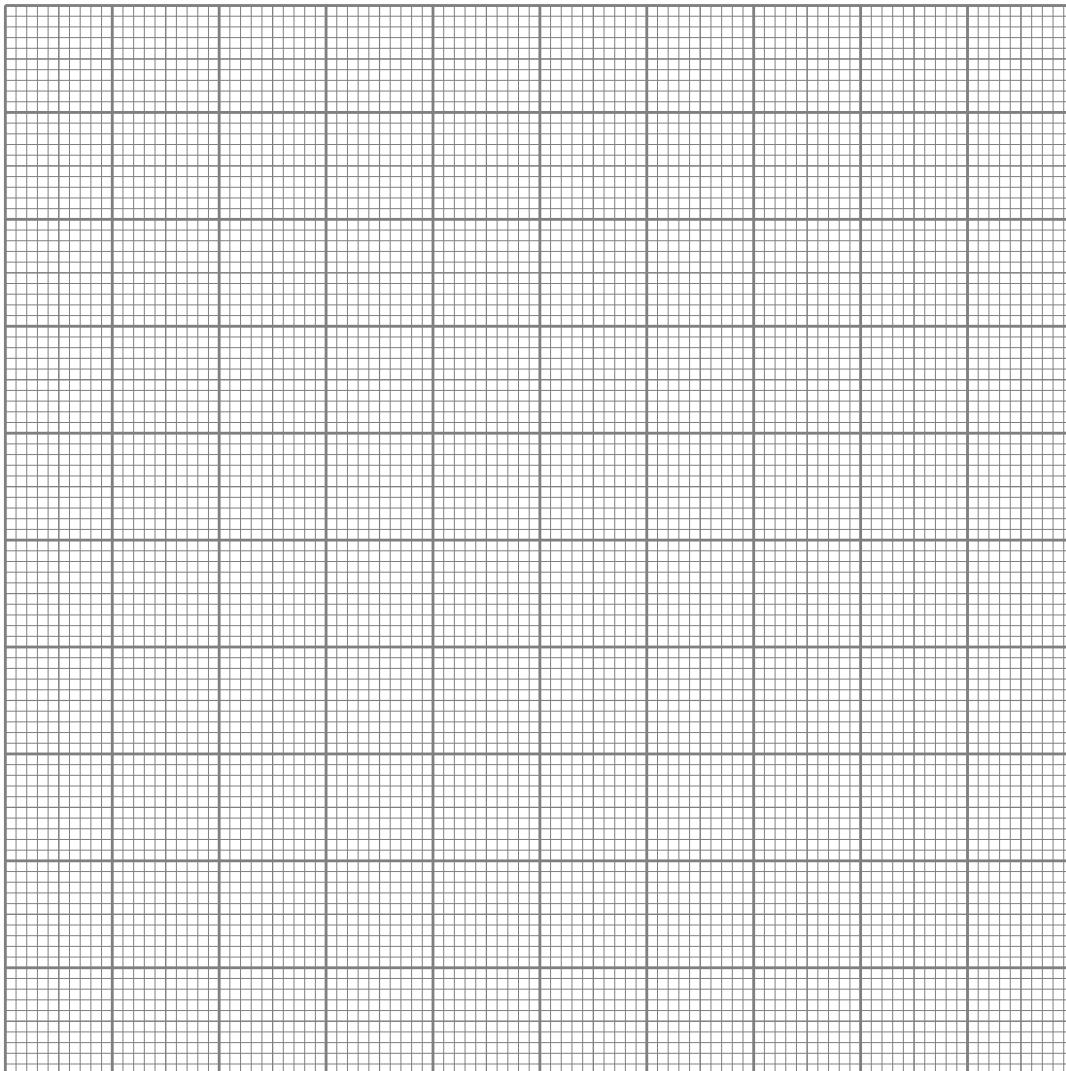
1. Observer le schéma de montage et nommer le matériel nécessaire ainsi que les éventuels réglages.
2. Compléter le schéma de montage en précisant la flèche de tension ( $U$ ) aux bornes de  $R$  et celle de courant ( $I$ ).
3. Compléter le schéma de montage en précisant les bornes des appareils de mesure.
4. Réaliser ce montage en suivant les consignes données oralement et notamment en vérifiant bien que les instruments de mesures soient correctement réglés.

**Rappel :** Il faut toujours attendre que le professeur vienne vérifier le montage avant de le mettre sous tension !

5. Faire varier la tension du générateur réglable  $U$ . Mesurer la tension  $U$  et l'intensité du courant électrique  $I$ . On commencera les 20 mesures à  $U = 0 \text{ V}$  et on les terminera à  $U = 10 \text{ V}$ .

$U \text{ (V)}$									
$I \text{ (.....)}$									
$U \text{ (V)}$									
$I \text{ (.....)}$									

6. Choisir une échelle convenable et tracer les points de mesure ainsi que la caractéristique du résistor  $U = f(I)$  ( $U$  en fonction de  $I$  :  $U$  en ordonnée et  $I$  en abscisse).



7. Déterminer la pente (ou coefficient directeur)  $\alpha$  de la droite. Préciser son unité.  
8. Comparer  $\alpha$  avec la valeur de la résistance  $R$  lue grâce au code des couleurs ou grâce à l'indication numérique inscrite dessus.  
9. Énoncer en conclusion la loi qui relie les trois grandeurs physiques : intensité ( $I$ ), tension ( $U$ ) et résistance ( $R$ ) en français sur les pointillés et sous une forme mathématique dans l'encadré.

.....  
.....  
.....  
.....

## Loi d'Ohm

*Cette loi est à connaître par cœur.*

# TP : Association de conducteurs ohmiques

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Objectifs

- Vérifier les relations d'association de conducteurs ohmiques en série et en parallèle.

### I. Association série

On réalise l'association en série de deux conducteurs ohmiques  $R_1$  et  $R_2$ .  
On alimente cette association par un générateur de tension réglable  $U$ .  
On mesure la tension  $U_1$  aux bornes de  $R_1$ ,  $U_2$  aux bornes de  $R_2$  ainsi que la tension  $U$  aux bornes du générateur et le courant  $I$  dans le circuit.

1. Faire le schéma du montage en faisant apparaître les tensions et les courants avec les conventions habituelles, ainsi qu'en précisant les bornes des appareils de mesure.

2. Réaliser le montage et le montrer au professeur avant mise sous tension. Mesurer les grandeurs indiquées plus haut.

$U$ (V)										
$I$ (A)										
$U_1$ (V)										
$U_2$ (V)										
$U_1 + U_2$										

3. Calculer  $U_1 + U_2$ . Comparer à  $U$ . Conclure.
4. Tracer  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U$  et  $U_1 + U_2$  en fonction de  $I$ .
5. Donner la valeur de :
  - $R_1 = \dots$
  - $R_2 = \dots$
  - $R = \dots$
6. Calculer  $R_1 + R_2$ . Conclure.

## II. Association parallèle

On réalise l'association en parallèle de deux conducteurs ohmiques  $R_1$  et  $R_2$ .  
 On alimente cette association par un générateur de tension réglable  $U$ .  
 On mesure le courant  $I_1$  traversant le conducteur ohmique de résistance  $R_1$ ,  $I_2$  celui traversant  $R_2$  ainsi que la tension  $U$  aux bornes du générateur et le courant  $I$  qu'il débite.

1. Faire le schéma du montage en faisant apparaître les tensions et les courants avec les conventions habituelles, ainsi qu'en précisant les bornes des appareils de mesure.

2. Réaliser le montage et le montrer au professeur avant mise sous tension. Mesurer les grandeurs indiquées plus haut.

$U$ (V)										
$I$ (A)										
$I_1$ (A)										
$I_2$ (A)										
$I_1 + I_2$										

3. Calculer  $I_1 + I_2$ , comparer à I. Conclure.
4. Tracer  $U$  en fonction de  $I$ ,  $U$  en fonction de  $I_1$ ,  $U$  en fonction de  $I_2$  et  $U$  en fonction de  $I_1 + I_2$ .
5. Donner la valeur de :
  - $R_1 = \dots$
  - $R_2 = \dots$
  - $R = \dots$
6. Calculer  $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ . Conclure.

**Résumé : association série ou parallèle de conducteurs ohmiques**

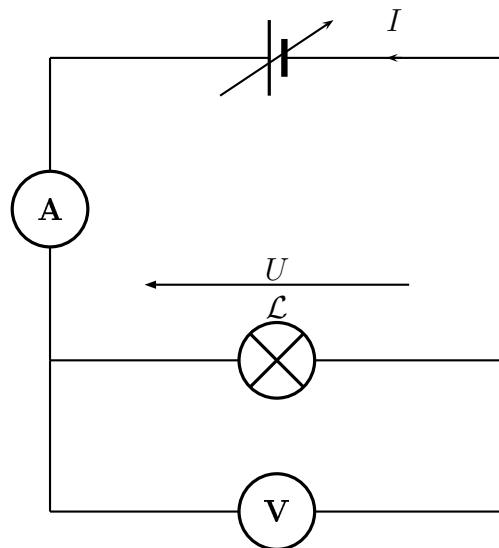
# TP : Puissance et énergie consommée par un dipôle électrique

## Objectifs

- calculer la puissance électrique d'un dipôle fonctionnant en courant continu à partir de la mesure de la tension à ses bornes et de l'intensité qui le traverse
- calculer l'énergie électrique consommée par un dipôle électrique

## I. Schéma du circuit électrique

1. Mettre les bornes des appareils de mesure sur le schéma ci-contre.
2. Réaliser le schéma électrique ci-contre avec trois lampes différentes.



## II. Protocole expérimental

1. Pour chaque lampe, noter ses caractéristiques dans un tableau.
2. Relever la valeur expérimentale de la tension  $U$  à ses bornes et l'intensité  $I$  qui la traverse.
3. Compléter le tableau suivant.

Lampe	Tension nominale (V)	Puissance nominale (W)	Tension à ses bornes (V)	Intensité (A)	Produit $U \cdot I$ (W)
1					
2					
3					

4. Comparer la valeur du produit  $U \cdot I$  à la valeur de la puissance nominale de la lampe.

.....

## III. Conclusion

Ecrire la loi qui régit la *puissance* d'un appareil fonctionnant en courant continu, en français et de façon mathématique avec les unités correspondantes.

**Remarque :** cette relation ne s'applique pas rigoureusement si le courant est alternatif et si les appareils branchés comportent des moteurs.

## Exercices d'application sur la notion de puissance électrique

**Exercice 1 :** Dans le cas où le dipôle branché est une résistance, on peut exprimer la tension à ses bornes en fonction de sa résistance  $R$  et de l'intensité  $I$  qui la traverse. Donner alors l'expression de la puissance d'une résistance en fonction de sa résistance  $R$  et de l'intensité  $I$  qui la traverse.

**Exercice 2 :** Un constructeur donne, pour une résistance, les indications suivantes : ( $560 \Omega$ ;  $0,5 W$ ). Expliciter ces indications, puis calculer quelle est la valeur maximale de l'intensité qui peut traverser cette résistance sans l'endommager ? Que se passe t-il si le courant est supérieur à cette valeur maximale ?

## Energie consommée par un dipôle électrique

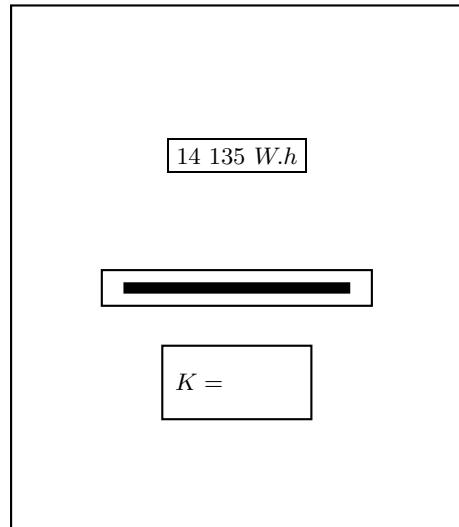
Pour mesurer l'énergie électrique consommée par les dipôles électriques, on utilise un compteur EDF, qui se présente sous la forme d'un boîtier rectangulaire, avec un disque horizontal qui tourne.

A chaque fois que le disque fait un tour, une quantité d'énergie bien définie a été consommée.

Pour le compteur utilisé, .....

A des fins de commodité, EDF exprime l'énergie sous forme de Watts-heure (ou de kiloWatts-heure), ce qui correspond à l'énergie consommée par un appareil électrique de  $1 W$  fonctionnant pendant une heure.

Plusieurs dipôles fonctionnant en  $220 V$  sont branchés à la suite de ce compteur. Un chronomètre est utilisé afin de mesurer le temps écoulé au cours duquel les appareils fonctionnent.



Noter le temps de fonctionnement : .....

Noter le nombre de tours effectués par le disque pendant ce temps : .....

Quelle est l'énergie consommée : .....

Noter la puissance de chaque dipôle branché : .....

.....  
La loi qui régit la consommation d'énergie électrique d'un ou plusieurs appareils est :

## Exercices

**Exercice 1 :** Pierre et Marie ont oublié d'éteindre leur radiateur électrique de  $1500 W$  lorsqu'ils sont partis en vacances d'hiver pendant une semaine. A leur retour, hormis un appartement bien chauffé, ils reçoivent la facture d'électricité. Quel montant leur a coûté leur oubli ? (donnée :  $1 kW.h = 0.06 \text{ €}$ ).

**Exercice 2 :** Pour protéger une ligne électrique alimentant un four ( $230 V$ ;  $3,5 kW$ ), peut-on utiliser un fusible de calibre  $20 A$  ? Pourquoi ?

**Exercice 3 :** Une prise électrique est protégée par un fusible de  $10 A$ . Peut-on brancher ensemble une lampe halogène de  $300 W$ , un barbecue électrique de  $1800 W$  et une chaîne hi-fi de  $200 W$  ?

# Optique géométrique



# TP : Réflexion - Réfraction

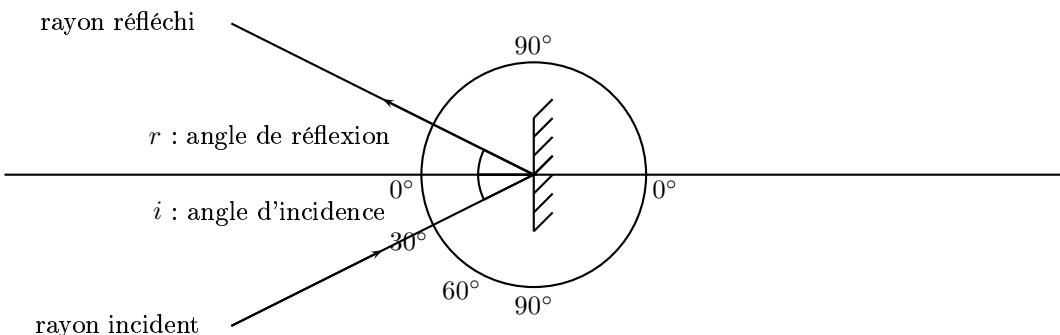
## Objectifs

- Vérifier les lois de Snell-Descartes.

## Matériel

- disque optique gradué (plexiglas)
- miroir
- lanterne et fente

## I. Réflexion



1. Poser le miroir sur un disque gradué de telle sorte que son plan soit perpendiculaire à celui du disque.
2. Éclairer le miroir par un pinceau lumineux.
3. Faire varier l'angle d'incidence  $i$  (par rapport à la normale au miroir). Mesurer l'angle de réflexion  $r$ . Reporter les résultats expérimentaux dans le tableau suivant.

Angle d'incidence $i$ (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
Angle de réflexion $r$ (°)										

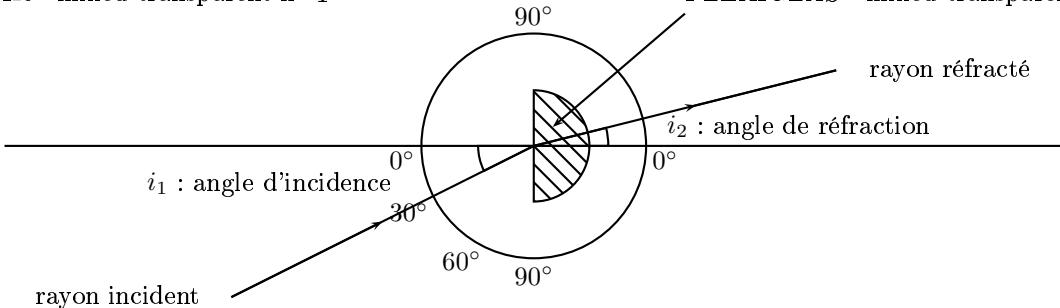
4. Conclusion

## II. Réfraction

### A. Réfraction air-plexiglas

AIR - milieu transparent n° 1

PLEXIGLAS - milieu transparent n° 2



1. Remplacer le miroir par un demi-cylindre en plexiglas.
2. Envoyer le pinceau lumineux en direction de la face plane du demi cylindre.

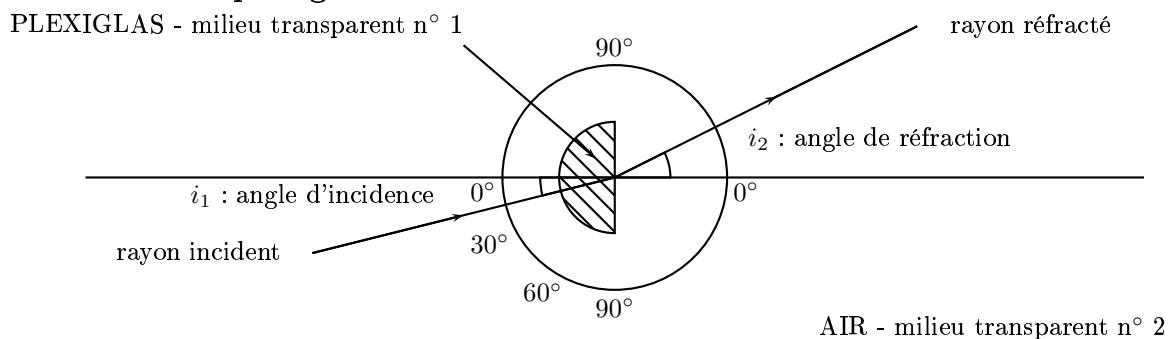
3. Faire varier l'angle d'incidence  $i$  (par rapport à la normale au plan du demi-cylindre). Mesurer l'angle de réflexion  $r$ . Reporter les résultats expérimentaux dans le tableau suivant.

Angle d'incidence $i_1$ ( $^{\circ}$ )	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
Angle de réfraction $i_2$ ( $^{\circ}$ )										
$\frac{\sin(i_1)}{\sin(i_2)}$										

4. Conclusion.

5. Calculer l'indice de réfraction  $n_2$  du plexiglas.  
 6. Mesurer puis calculer l'angle d'incidence limite  $i_{1lim}$  (s'il existe).  
 7. Mesurer puis calculer l'angle de réfraction limite  $i_{2lim}$  (s'il existe).

## B. Réfraction plexiglas-air



1. Placer le demi-cylindre en plexiglas dans l'autre sens.  
 2. Envoyer le pinceau lumineux en direction de la face arrondie du demi cylindre.  
 3. Faire varier l'angle d'incidence  $i$  (par rapport à la normale interne au plan du demi-cylindre). Mesurer l'angle de réflexion  $r$ . Reporter les résultats expérimentaux dans le tableau suivant.

Angle d'incidence $i_1$ ( $^{\circ}$ )	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
Angle de réfraction $i_2$ ( $^{\circ}$ )										
$\frac{\sin(i_1)}{\sin(i_2)}$										

4. Conclusion.

5. Calculer l'indice de réfraction  $n_2$  du plexiglas.  
 6. Mesurer puis calculer l'angle d'incidence limite  $i_{1lim}$  (s'il existe).  
 7. Mesurer puis calculer l'angle de réfraction limite  $i_{2lim}$  (s'il existe).

# Les lentilles minces

## I. Qu'est-ce qu'une lentille ?

### A. Définition

Les instruments optiques : loupe, verres de lunettes, objectif photographique, microscope, lunette astronomique s'obtiennent par association de lentilles.

Une lentille mince est un milieu transparent (verre, plexiglas, eau) limité par 2 calottes sphériques ou une calotte sphérique et 1 plan.

### B. Les différents types de lentilles

#### 1. Lentilles à bords minces



FIG. 1 – Biconvexe



FIG. 2 – Plan convexe



FIG. 3 – Ménisque convergent

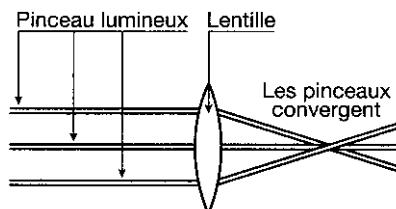


FIG. 4 – Les pinceaux lumineux sortent de la lentille en **convergeant** vers un point commun.

#### 2. Lentilles à bords épais



FIG. 5 – Biconcave



FIG. 6 – Plan concave



FIG. 7 – Ménisque divergent

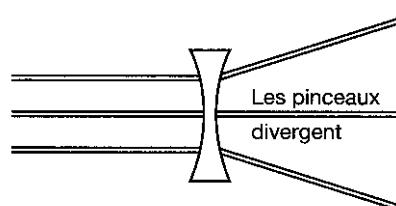


FIG. 8 – Les pinceaux lumineux sortent de la lentille en **divergeant**.

## C. Caractéristiques des lentilles minces

### 1. L'approximation de la lentille *mince*

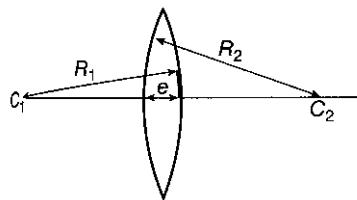


FIG. 9 – Dimensions d'une lentille

On nomme  $R_1$  et  $R_2$  les rayons des calottes sphériques et  $e$  l'épaisseur de la lentille.

La lentille peut être considérée comme ***mince*** si  $e \ll R$  (en général, on dit que c'est le cas lorsque  $e < \frac{R}{10}$ ).

Nous nous limiterons à l'étude des lentilles minces, car celle des lentilles épaisses est beaucoup trop complexe.

### 2. L'axe optique $\Delta$

L'axe optique d'une lentille (généralement noté  $\Delta$ ) est l'axe de symétrie (symétrie de révolution) de la lentille. Il passe par  $C_1$  et  $C_2$ .

### 3. Schématisation

Les lentilles se schématisent de la façon suivante :

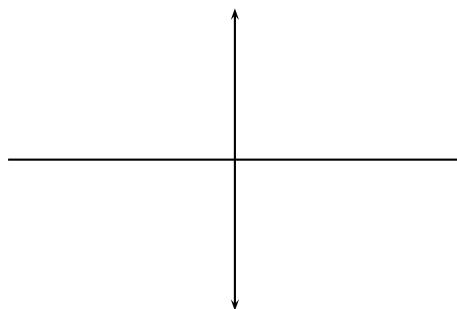


FIG. 10 – Lentille .....

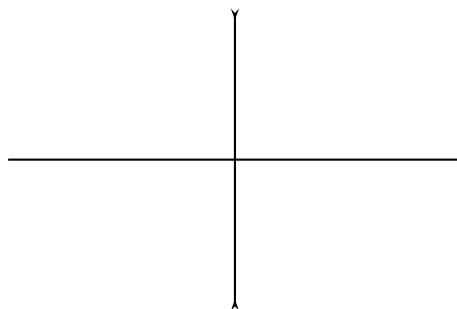
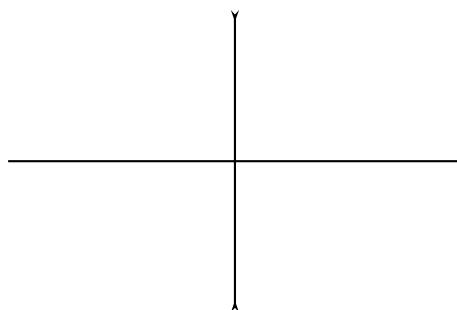
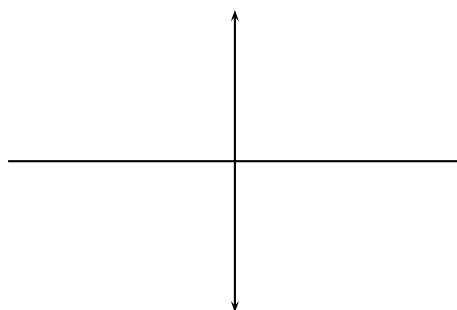


FIG. 11 – Lentille .....

## D. Le centre optique $O$

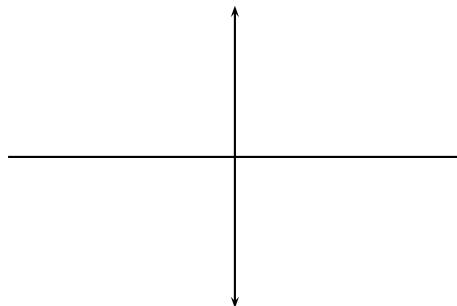
Le centre optique est le point d'intersection de la lentille mince avec l'axe optique.

Un rayon lumineux qui passe par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.



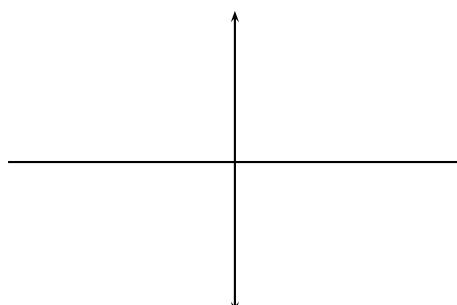
## II. Les lentilles convergentes

### A. Le foyer image $F'$



Tout rayon incident parallèle à l'axe optique de la lentille sort en passant par un point particulier appelé foyer image  $F'$ .

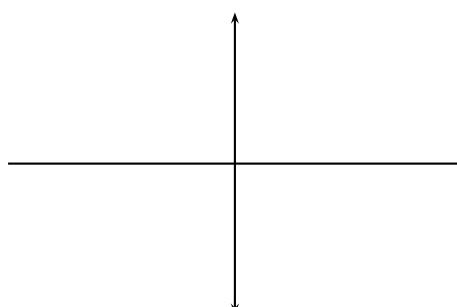
### B. Le foyer objet $F$



Tout rayon passant par un point particulier appelé foyer objet  $F$ , sort de la lentille parallèlement à l'axe optique.

**Remarque :** Le foyer objet  $F$  et le foyer image  $F'$  sont symétriques par rapport au centre optique  $O$  de la lentille.

### C. La distance focale $f'$



La valeur algébrique  $\overline{OF'}$  (longueur orientée suivant la convention donnée dans le schéma) représente la distance focale de la lentille.

$$\boxed{\overline{OF'} = f' > 0 \text{ pour une lentille convergente}}$$

- $f'$  en mètre

### D. Les plans focaux

Le **plan focal image** est le plan passant par  $F'$  perpendiculaire à l'axe optique.

Le **plan focal objet** est le plan passant par  $F$  perpendiculaire à l'axe optique.

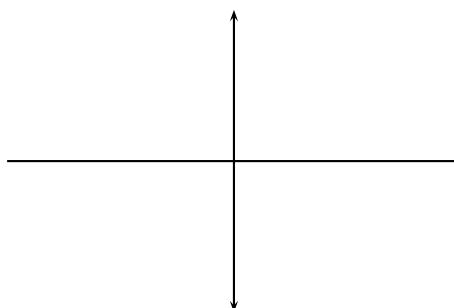
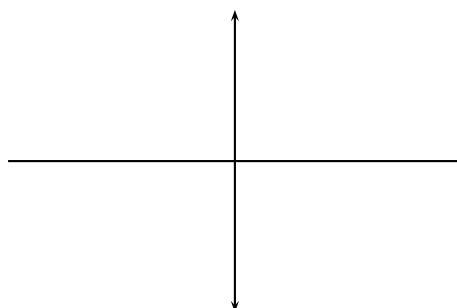


FIG. 12 – Plan focal image

FIG. 13 – Plan focal objet

## E. La vergence

Les opticiens utilisent la **vergence** (notée  $C$ ) pour caractériser les lentilles.  
La vergence est l'inverse de la distance focale  $f'$  :

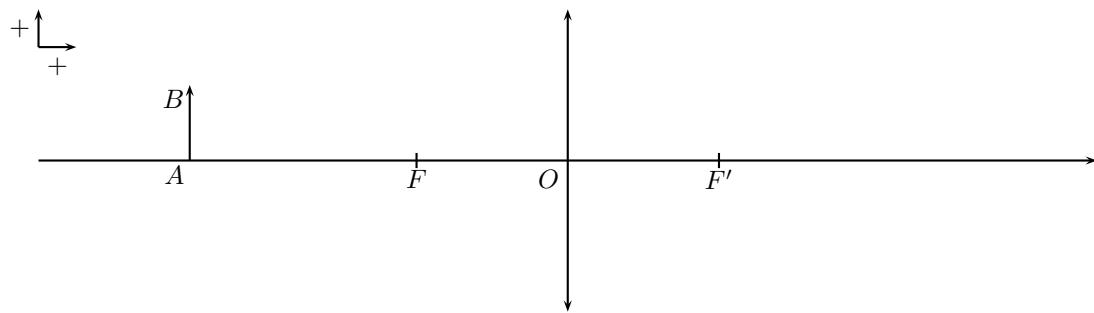
$$C = \frac{1}{OF'} = \frac{1}{f'}$$

- $C$  en dioptrie ( $\delta$ )
- $f'$  en mètre

Pour une lentille convergente  $C > 0$ .

## F. Images données par une lentille convergente

### 1. Projection d'une image sur un écran



**Nature :** L'objet est ..... L'image est .....

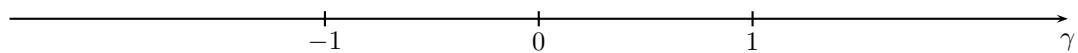
**Sens de l'image :** ..... **Taille de l'image :** .....

**Position de l'image :** on peut trouver la position de l'image connaissant la position de l'objet et la distance focale de la lentille à l'aide d'une **formule de conjugaison** (voir paragraphe « Relations de conjugaisons »)

**Grandissement :** le grandissement  $\gamma$  de l'image est le rapport de la taille de l'image sur la taille de l'objet. C'est une grandeur **algébrique**.

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

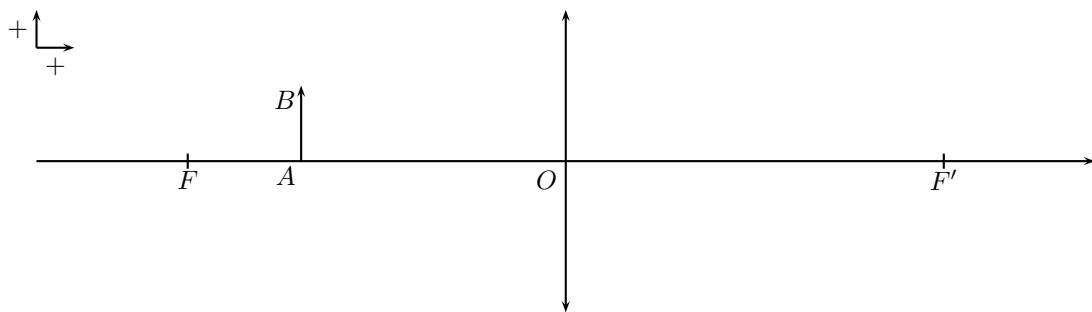
sens de l'image



taille de l'image

## 2. Observer une image à l'aide d'une loupe

On place l'objet entre le centre optique  $O$  et le foyer objet  $F$ .



**Nature :** L'objet est ..... L'image est .....

**Sens de l'image :** ..... **Taille de l'image :** .....

**Grossissement d'une loupe :** L'impression de grandeur est liée non pas à la dimension absolue de l'objet regardé mais à son diamètre apparent (angle sous lequel il est vu). C'est pourquoi pour les instruments oculaires où le récepteur est l'oeil, on définit le **grossissement**  $G$  qui caractérise numériquement le bénéfice tiré par l'oeil.

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

- $\alpha'$  : angle sous lequel on voit l'image donnée par la loupe.
- $\alpha$  : angle sous lequel on voit l'objet à l'oeil nu et dans les meilleures conditions donc à la distance minimale de vision distincte  $d_m$ .

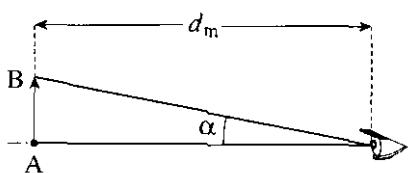


FIG. 14 – L'oeil voit  $AB$  dans les meilleures conditions sous un angle  $\alpha$ .

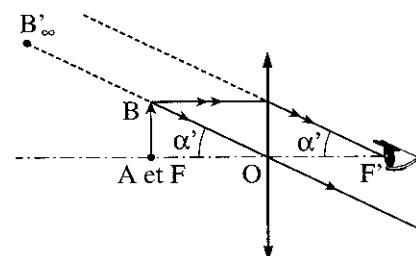


FIG. 15 – Observation de  $A'B'$  quand l'oeil n'accorde pas.

$G$  dépend des caractéristiques de l'oeil et de la loupe. Pour comparer sans ambiguïté deux loupes, on définit le **grossissement commercial**  $G_c$

- On choisit  $d_m = 25 \text{ cm}$
- On suppose que l'oeil est placé au foyer image  $F'$  de la loupe.
- On suppose que l'oeil **n'accorde pas**, ce qui revient à placer l'objet dans le plan focal objet de la loupe.
- Dans ces conditions, les angles sont petits et exprimés en radians :

$$\tan(\alpha) \approx \alpha \approx \frac{AB}{0,25} = 4AB$$

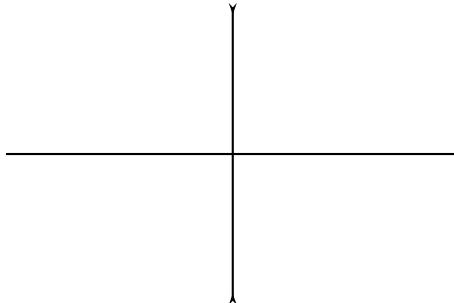
$$\tan(\alpha') \approx \frac{AB}{f'}$$

$$G_c = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{1}{4f'} = \frac{C}{4}$$

Un grossissement commercial inférieur à 1 n'a pas d'intérêt, la vergence  $C$  de la lentille convergente utilisée doit donc être supérieure à 4  $\delta$ .

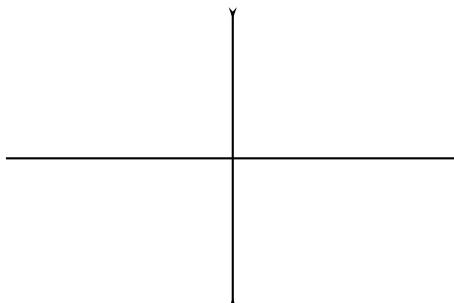
### III. Les lentilles divergentes

#### A. Le foyer image $F'$



Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en semblant provenir d'un point particulier : le foyer image  $F'$ .

#### B. Le foyer objet $F$



Tout rayon lumineux incident, arrivant sur la lentille divergente en semblant passer par le foyer objet  $F$  sort de la lentille, parallèlement à l'axe optique.

#### C. La distance focale $f'$

La valeur algébrique  $\overline{OF'}$  (longueur orientée suivant la convention donnée dans le schéma) représente la distance focale de la lentille.

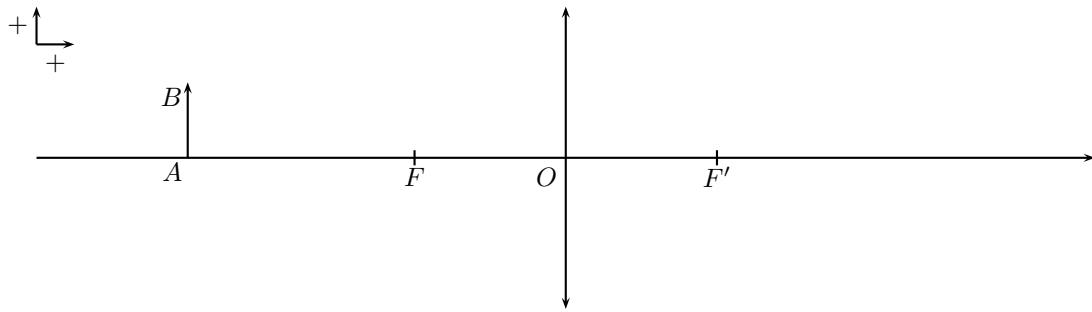
$$\overline{OF'} = f' < 0 \text{ pour une lentille divergente}$$

- $f'$  en mètre

#### D. La vergence

Pour une lentille divergente  $C < 0$ .

## Relations de grandissement



### A. Définition

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

### B. Relations

$$\overline{AB} = \overline{OI}$$

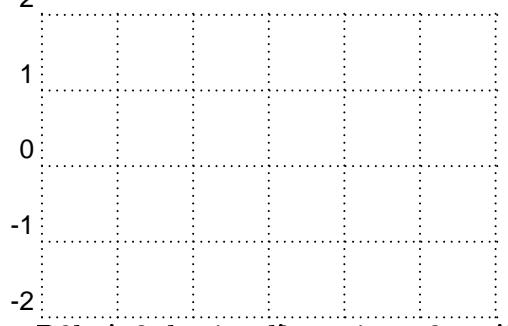
$$\overline{A'B'} = \overline{OJ}$$

**1<sub>2</sub>** Relation de grandissement avec origine au centre *O*



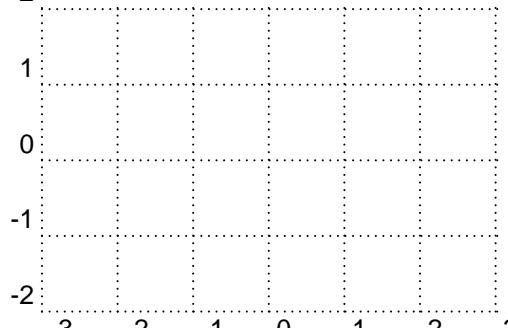
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = +\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

**2<sub>2</sub>** Relation de grandissement avec origine au foyer objet *F*



$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{OF}}{\overline{FA}}$$

**3<sub>2</sub>** Relation de grandissement avec origine au foyer image *F'*



$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$$

## Relations de conjugaison

### A. Formule de Newton (origine aux foyers)

On utilise les deux relations de grandissement avec origine aux foyers (objet et image) :  $-\frac{\overline{OF}}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$ .  
On multiplie par  $-1$ , on a alors  $\frac{\overline{OF}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$

$$\boxed{\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = \overline{OF} \cdot \overline{OF'}}$$

Cette formule, nommée aussi **formule de Newton** se note également :  $x \cdot x' = ff'$ .  
Or comme pour une lentille mince on a  $\overline{OF} = -\overline{OF'}$  soit  $f = -f'$  on peut alors écrire :

$$\boxed{x \cdot x' = -f'^2}$$

### B. Formule de Descartes (origine au centre)

On utilise la relation de grandissement avec origine au centre et celle avec origine au foyer image.

$$+\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$$

Soit en mettant en ligne :  $\overline{OA'} \cdot \overline{OF'} = -\overline{F'A'} \cdot \overline{OA}$

Or  $\overline{F'A'} = \overline{F'O} + \overline{OA'} = \overline{OA'} - \overline{OF'}$ .

Il vient alors  $\overline{OA'} \cdot \overline{OF'} = -(\overline{OA'} - \overline{OF'}) \cdot \overline{OA}$ .

En développant, on obtient :  $\overline{OA'} \cdot \overline{OF'} = -\overline{OA'} \cdot \overline{OA} + \overline{OF'} \cdot \overline{OA}$

Soit aussi :  $\overline{OF'} \cdot \overline{OA} - \overline{OA'} \cdot \overline{OF'} = \overline{OA'} \cdot \overline{OA}$

On divise alors par  $\overline{OA} \cdot \overline{OA'} \cdot \overline{OF'}$  et on obtient :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}}$$

Cette formule, nommée également **Relation de Descartes**, se note aussi :

$$\boxed{\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}}$$

## Résumé

$\overline{OF} = f$	distance focale objet
$\overline{OF'} = f'$	distance focale image
$\overline{OA} = p$	distance objet-lentille
$\overline{OA'} = p'$	distance image-lentille
$\overline{FA} = x$	distance foyer objet - objet
$\overline{F'A'} = x'$	distance foyer image - image

### Relation de Descartes

$$\boxed{\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}}$$

### Formule de Newton

$$\boxed{x \cdot x' = -f'^2}$$

### Grandissement

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{p'}{p} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}}$$

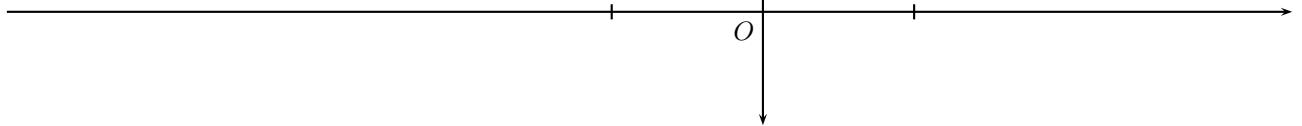
## Constructions géométriques pour les lentilles minces convergentes

$$f' = \overline{OF'} > 0$$

### Cas 1

objet réel

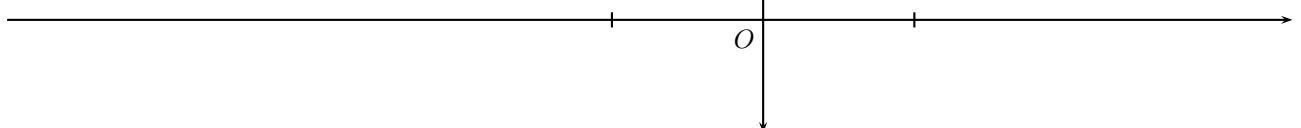
$$\overline{OA} \in ]-\infty; 2f[$$



### Cas 2

objet réel

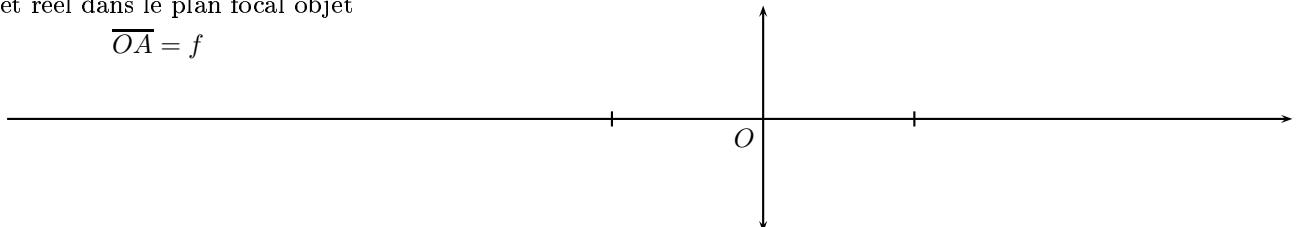
$$\overline{OA} \in ]2f; f[$$



### Cas 3

objet réel dans le plan focal objet

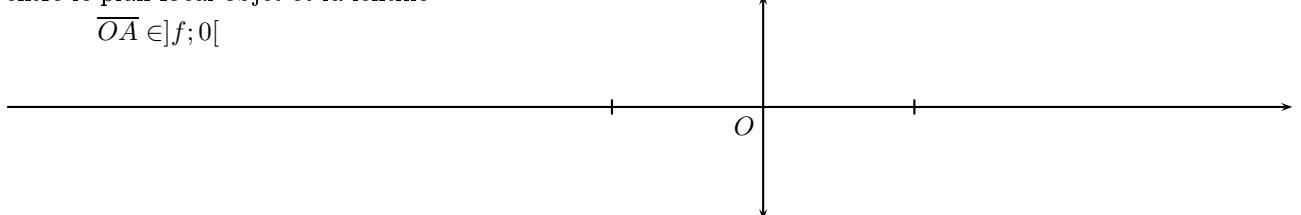
$$\overline{OA} = f$$



### Cas 4

objet réel entre le plan focal objet et la lentille

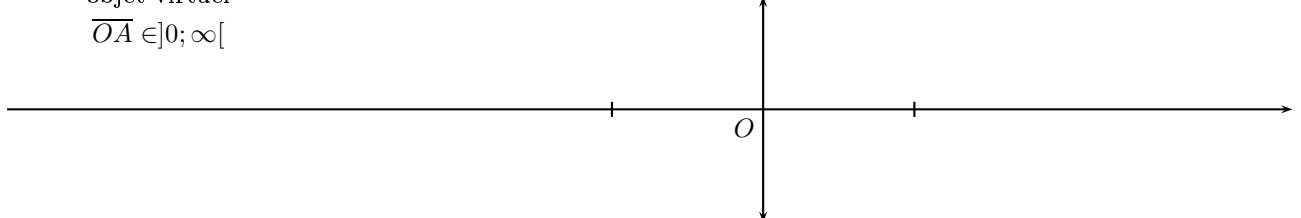
$$\overline{OA} \in ]f; 0[$$



### Cas 5

objet virtuel

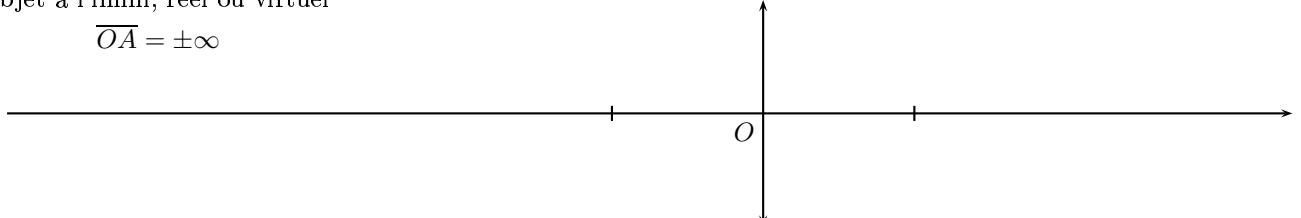
$$\overline{OA} \in ]0; \infty[$$



### Cas 6

objet à l'infini, réel ou virtuel

$$\overline{OA} = \pm\infty$$



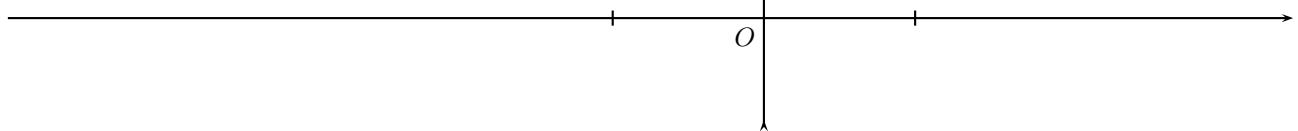
## Constructions géométriques pour les lentilles minces divergentes

$$f' = \overline{OF'} < 0$$

### Cas 1

objet réel

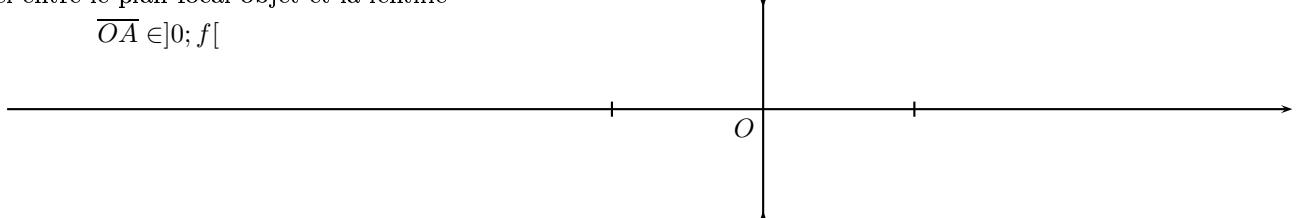
$$\overline{OA} \in ]-\infty; 0[$$



### Cas 2

objet virtuel entre le plan focal objet et la lentille

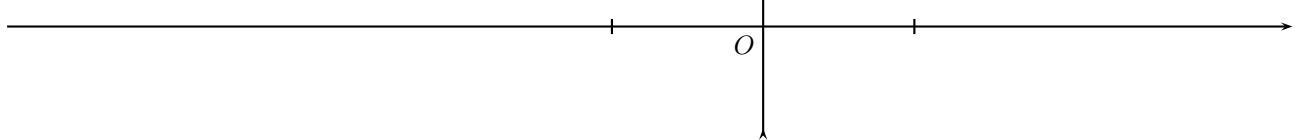
$$\overline{OA} \in ]0; f[$$



### Cas 3

objet virtuel dans le plan focal objet

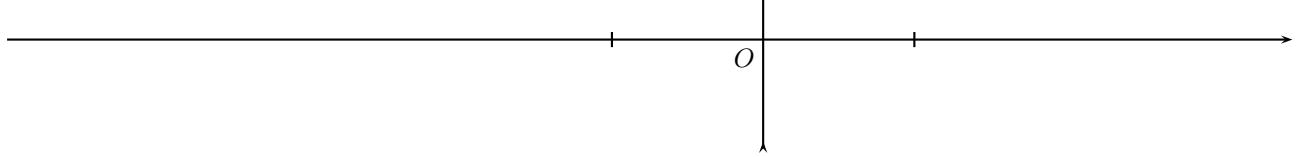
$$\overline{OA} = f$$



### Cas 4

objet virtuel

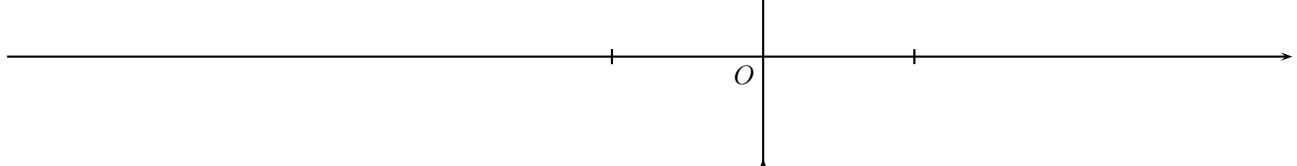
$$\overline{OA} \in ]f; 2f[$$



### Cas 5

objet virtuel

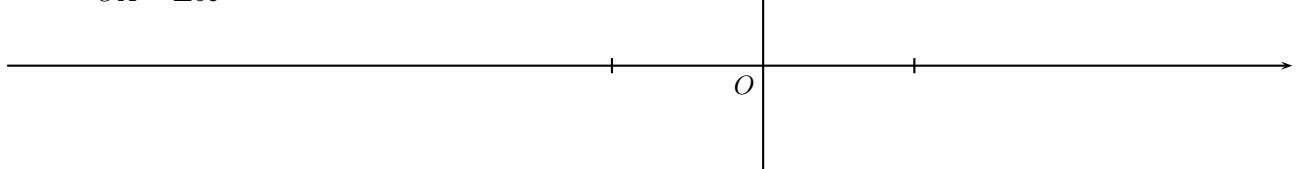
$$\overline{OA} \in ]2f; +\infty[$$



### Cas 6

objet à l'infini, réel ou virtuel

$$\overline{OA} = \pm\infty$$



# TP : Relations de conjugaison des lentilles minces

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Objectifs

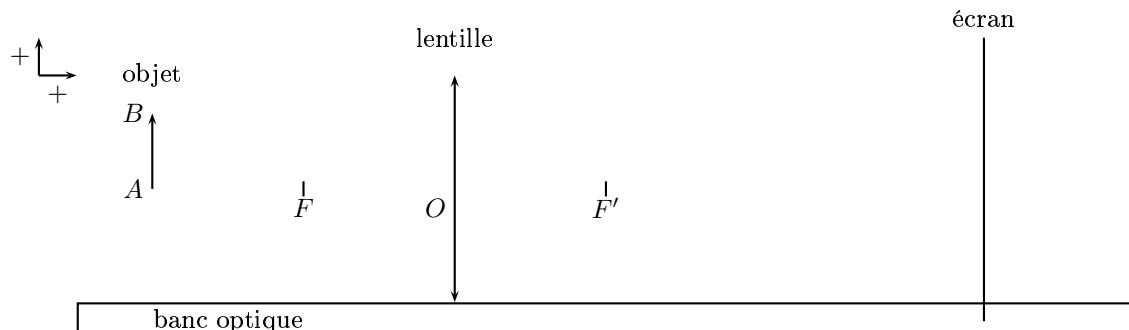
- Établir les relations de conjugaison des lentilles minces.
- Établir les relations de grandissement des lentilles minces.

## Matériel

- Banc optique
- Objet lumineux (lanterne avec lettre F)
- Écran millimétré.
- Lentille mince convergente de vergence  $V = \dots$

## I. Montage optique

Utilisons un banc d'optique, un objet  $AB$  bien éclairé, une lentille convergente de vergence  $V$  connue et un écran muni d'une feuille de papier millimétré.



1. Représenter sur le schéma ci-dessus l'axe optique.
2. Tracer trois rayons optiques particuliers permettant de déterminer la position de l'image  $A'B'$ .
3. Que faut-il faire pour obtenir une image nette ?

## II. Questions préliminaires

1. Quel est le signe de  $V$  ?
2. Quel est le signe de  $f' = \overline{OF'}$  ?
3. Quel est le signe de  $f = \overline{OF}$  ?
4. Quel est le signe de  $p = \overline{OA}$  ?
5. Quel est le signe de  $p' = \overline{OA'}$  ?
6. Indiquer en  $m$  puis en  $cm$  la distance focale image  $f'$  de la lentille.
7. Indiquer en  $m$  puis en  $cm$  la distance focale objet  $f$  de la lentille

## III. Mesures

1. Mesurer la hauteur  $\overline{AB}$  de l'objet.
2. Pour plusieurs positions différentes de l'objet par rapport à la lentille, mesurer :
  - (a) la distance  $\overline{OA'}$  séparant l'image de la lentille.
  - (b) la hauteur  $\overline{A'B'}$  de l'image.

3. Reporter les mesures dans le tableau suivant.

Position	$\overline{OA}$ (m)	$\overline{OA'}$ (m)	$\frac{1}{\overline{OA}}$ ( $m^{-1}$ )	$\frac{1}{\overline{OA'}}$ ( $m^{-1}$ )	$\frac{1}{\overline{OF'}}$ ( $m^{-1}$ )	$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$	$\overline{A'B'}$ (m)	$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$
1	-0.15							
2	-0.20							
3	-0.25							
4	-0.30							
5	-0.40							
6	-0.50							

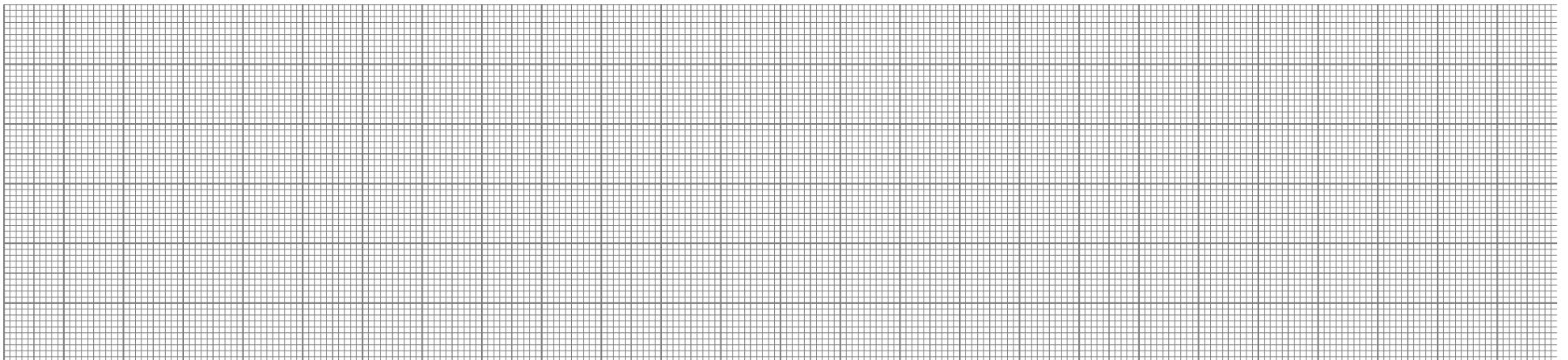
4. Dans tout les cas, on a placé l'objet tel que  $\overline{OA} < f$ . Expliquer pourquoi. Vérifier expérimentalement ce qui se passe lorsque l'on ne respecte pas cette condition.

## IV. Interprétation

- Faire la construction graphique pour différentes positions.  
Indiquer dans chaque cas les caractéristiques de l'image.
- Calculer  $\frac{1}{\overline{OA'}}$ ,  $\frac{1}{\overline{OA}}$  et  $\frac{1}{\overline{OF'}}$  et noter les valeurs dans le tableau.
- Réaliser une représentation graphique de  $y = \frac{1}{\overline{OA'}}$  en fonction de  $x = \frac{1}{\overline{OA}}$ .
- Pour chaque position, calculer le rapport  $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$  et le comparer au rapport  $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ .
- Quelle relation la représentation graphique permet-elle d'établir ? Prolonger la courbe jusqu'à l'axe des ordonnées. Que représente ce point ? Comparer son ordonnée à la vergence  $V$  de la lentille.
- Établir une relation entre  $\frac{1}{\overline{OA'}}$ ,  $\frac{1}{\overline{OA}}$  et  $\frac{1}{\overline{OF'}}$ .
- À l'aide de ces résultats, décrire une méthode de mesure de la distance focale image d'une lentille de vergence  $V$  inconnue.
- D'après votre tableau de mesure, quelle grandeur est égale au grandissement  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ .

# TP : La loupe

1. Prenez la lentille de vergence  $V = +8 \text{ d}$  et placez l'objet tel que  $\overline{OA} = -8 \text{ cm}$ .
2. Schématissez sur la feuille de papier millimétré à l'échelle 1/1, la loupe et les rayons lumineux issus de l'objet. On placera la lentille à 2 cm du bord droit du papier millimétré.
  - (a) Où l'objet est-il placé par rapport aux foyers ( $F$  ou  $F'$ ) de la lentille et à son centre optique  $O$  ?
  - (b) Pouvez-vous recueillir l'image de l'objet sur un écran ?
  - (c) Regardez alors à travers la lentille, qu'observez-vous ?
  - (d) Déterminez graphiquement la position de l'image ainsi que sa grandeur  $A'B'$  pour un objet  $AB$  de 1 cm de hauteur.
  - (e) Retrouvez ces valeurs par le calcul.



3. **Conclusion :** Lorsque l'objet est situé entre le foyer objet  $F$  et le centre optique  $O$  d'une lentille, l'image ..... être recueillie sur un écran. On dit que l'on a une image ..... De plus, cette dernière est ..... et ..... que l'objet.  
Ainsi, une loupe est simplement une ..... placée dans une position particulière par rapport à l'objet.



**Exercice :** Questions de cours - Optique - lentilles minces

1. Rappelez le symbole d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
2. Placez les deux foyers  $F$  et  $F'$  et le centre optique  $O$  dans le cas d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
3. Représentez les trois rayons particuliers traversant une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
4. Rappelez la formule de conjugaison des lentilles minces et précisez les unités.
5. Rappelez les deux formules de grandissement et précisez les unités.
6. Définissez la vergence d'une lentille et précisez *les* unités.

**Exercice :** Questions de cours - Optique - lentilles minces

1. Rappelez le symbole d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
2. Placez les deux foyers  $F$  et  $F'$  et le centre optique  $O$  dans le cas d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
3. Représentez les trois rayons particuliers traversant une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
4. Rappelez la formule de conjugaison des lentilles minces et précisez les unités.
5. Rappelez les deux formules de grandissement et précisez les unités.
6. Définissez la vergence d'une lentille et précisez *les* unités.

**Exercice :** Questions de cours - Optique - lentilles minces

1. Rappelez le symbole d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
2. Placez les deux foyers  $F$  et  $F'$  et le centre optique  $O$  dans le cas d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
3. Représentez les trois rayons particuliers traversant une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
4. Rappelez la formule de conjugaison des lentilles minces et précisez les unités.
5. Rappelez les deux formules de grandissement et précisez les unités.
6. Définissez la vergence d'une lentille et précisez *les* unités.

**Exercice :** Questions de cours - Optique - lentilles minces

1. Rappelez le symbole d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
2. Placez les deux foyers  $F$  et  $F'$  et le centre optique  $O$  dans le cas d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
3. Représentez les trois rayons particuliers traversant une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
4. Rappelez la formule de conjugaison des lentilles minces et précisez les unités.
5. Rappelez les deux formules de grandissement et précisez les unités.
6. Définissez la vergence d'une lentille et précisez *les* unités.

**Exercice :** Questions de cours - Optique - lentilles minces

1. Rappelez le symbole d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
2. Placez les deux foyers  $F$  et  $F'$  et le centre optique  $O$  dans le cas d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
3. Représentez les trois rayons particuliers traversant une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
4. Rappelez la formule de conjugaison des lentilles minces et précisez les unités.
5. Rappelez les deux formules de grandissement et précisez les unités.
6. Définissez la vergence d'une lentille et précisez *les* unités.

**Exercice :** Questions de cours - Optique - lentilles minces

1. Rappelez le symbole d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
2. Placez les deux foyers  $F$  et  $F'$  et le centre optique  $O$  dans le cas d'une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
3. Représentez les trois rayons particuliers traversant une lentille mince
  - (a) convergente,
  - (b) divergente.
4. Rappelez la formule de conjugaison des lentilles minces et précisez les unités.
5. Rappelez les deux formules de grandissement et précisez les unités.
6. Définissez la vergence d'une lentille et précisez *les* unités.

# Devoir Surveillé

Optique - lentilles minces

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Exercice 1 :

On place un objet lumineux plan  $AB$  de  $1\text{ cm}$  de hauteur, à  $6\text{ cm}$  en avant d'une lentille  $L$  convergente de centre optique  $O$  et de distance focale  $f' = 4\text{ cm}$ .

1. Calculez la vergence de la lentille.
2. Notez sur un schéma à l'échelle 1 ses foyers  $F$  et  $F'$ .
3. Trouvez graphiquement
  - (a) la position  $\overline{OA'}$  de l'image  $A'B'$ ,
  - (b) la taille  $\overline{A'B'}$  de l'image  $A'B'$  .
4. Donnez les caractéristiques de l'image  $A'B'$ 
  - (a) sa nature (réelle/virtuelle)
  - (b) son sens (même sens que l'objet/renversée)
  - (c) sa taille (agrandie/rétrécie)
5. Déterminez par le calcul
  - (a) la position  $\overline{OA'}$  de l'image  $A'B'$ ,
  - (b) la grandeur  $\overline{A'B'}$  de l'image  $A'B'$ .

## Exercice 2 :

Une lentille convergente a une distance focale  $f' = 10\text{ cm}$ . Un objet de  $1\text{ cm}$  de haut se trouve à  $5\text{ cm}$  en avant de la lentille.

1. Calculez la vergence de la lentille.
2. Notez sur un schéma à l'échelle 1 ses foyers  $F$  et  $F'$ .
3. Trouvez graphiquement
  - (a) la position  $\overline{OA'}$  de l'image  $A'B'$ ,
  - (b) la taille  $\overline{A'B'}$  de l'image  $A'B'$  .
4. Donnez les caractéristiques de l'image  $A'B'$ 
  - (a) sa nature (réelle/virtuelle)
  - (b) son sens (même sens que l'objet/renversée)
  - (c) sa taille (agrandie/rétrécie)
5. Déterminez par le calcul
  - (a) la position  $\overline{OA'}$  de l'image  $A'B'$ ,
  - (b) la grandeur  $\overline{A'B'}$  de l'image  $A'B'$ .



# TP : Focométrie des lentilles minces

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Objectifs

- Déterminer la distance focale d'une lentille mince

## Matériel

- Banc optique avec objet (lanterne) et écran millimétré.
- Lentilles minces

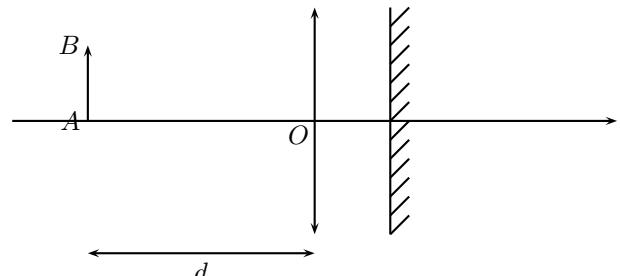
## I. Focométrie des lentilles minces convergentes

### A. Autocollimation

- Placer sur un banc d'optique un objet lumineux et la lentille à étudier.
- Placer dans un plan parallèle à celui de la lentille un miroir plan (la distance entre le miroir et la lentille n'a pas d'influence).
- Déplacer l'ensemble { miroir + lentille } de telle sorte qu'à la distance  $d$  entre la lentille et l'objet on a une image nette de l'objet sur lui-même (image nette mais inversée).

On a alors :

$$d = f'$$

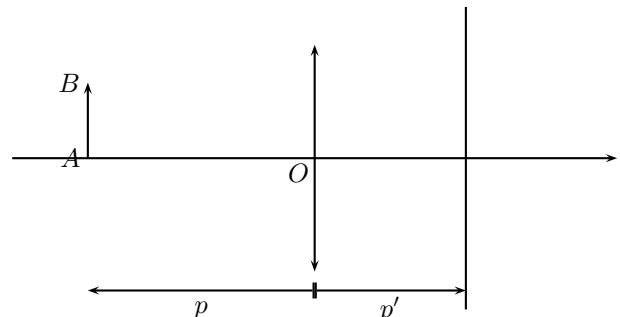


### B. Utilisation de la relation de Descartes

D'après la relation de Descartes, on a :

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$$

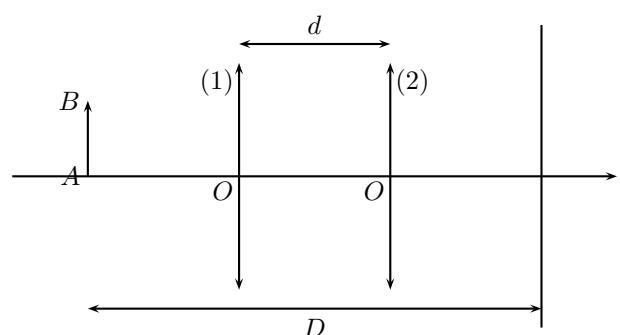
- Faire pour plusieurs positions de l'objet, l'image nette sur l'écran.
- Mesurer pour ces différentes positions  $p$  et  $p'$ .
- Tracer  $\frac{1}{p'}$  en fonction de  $\frac{1}{p}$ .
- Déduire de ce tracé la distance focale image  $f'$ .



### C. Méthode de Bessel

Cette méthode ne s'applique qu'aux lentilles convergentes.

- Placer sur un banc d'optique un objet lumineux et un écran situé à la distance  $D$  de la source.
- Vérifier qu'il existe deux positions de la lentille qui permettent d'obtenir une image nette de l'objet sur l'écran. Ces deux positions sont séparées par la distance  $d$ .



- Notations :
  - $D$  : distance objet-image
  - $d$  : distance entre les deux positions de lentille donnant une image nette sur l'écran
- Démontrez en utilisant les formules de conjugaison que la distance focale de la lentille est égale à :

$$f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$

Attention, il faut impérativement  $D > 4f'$ .

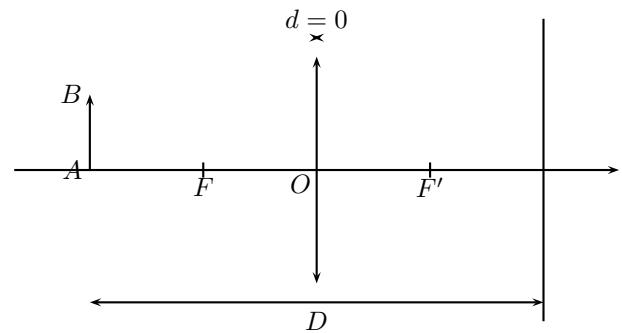
## D. Méthode de Silbermann

Cette méthode dérivée de la méthode de Bessel ne s'applique qu'aux lentilles convergentes.

- Placer sur un banc d'optique un objet lumineux et un écran situé à la distance  $D$  de la source.
- Vérifier qu'il existe deux positions de la lentille qui permettent d'obtenir une image nette de l'objet sur l'écran. Ces deux positions sont séparées par la distance  $d$ .
- Vérifier que lorsque l'on rapproche l'objet de l'écran (on diminue la valeur de  $D$ ), l'écart  $d$  entre les deux positions de lentille donnant une image nette sur l'écran diminue.
- Diminuer encore la valeur de  $D$ , jusqu'à ce que ces deux positions soient confondues ( $d = 0$ ). On peut remarquer qu'à ce moment le grandissement  $\gamma$  est égal à  $-1$ .

- Mesurer alors sur le banc d'optique la distance  $D$  objet-image et déduire la distance focale image de la lentille à l'aide de la relation :

$$f' = \frac{D}{4}$$



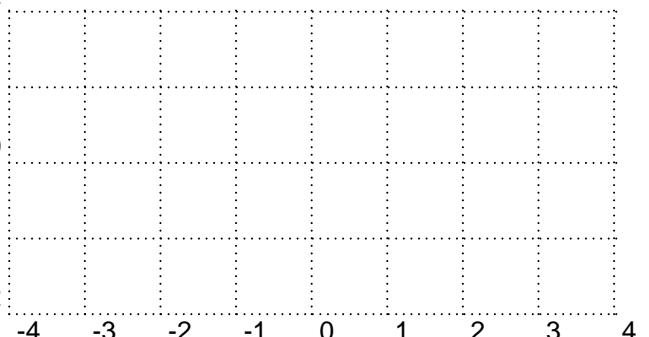
## E. Méthode de Badal

- Choisir deux lentilles convergentes  $L_1$  et  $L_2$  de vergences connues.
  - Réaliser l'image à l'infini de l'objet  $A$  placé sur le banc, par la première lentille.
  - Placer la deuxième lentille au-delà de la première, à une distance supérieure à sa propre distance focale.
  - Observer l'image de l'objet par l'ensemble se former dans le plan focal image de la deuxième lentille :  $A'$  en  $F'_2$ .
  - Placer la lentille de vergence  $V_x$  inconnue au foyer objet de la deuxième lentille, et chercher l'image réelle  $A''$  de l'objet dans le système ainsi constitué.
  - Mesurer le déplacement  $x = A'A''$  de l'image.
- On montre que :

$$f'_x = -\frac{f'^2_2}{x}$$

**Remarque :**  $x$  est positif pour une lentille divergente et négatif pour une lentille convergente.

On démontre cette relation en appliquant la relation de Newton  $\overline{FA} \cdot \overline{FA'} = \overline{OF} \cdot \overline{OF'} = -\overline{OF}^2$ .



## II. Focométrie des lentilles minces divergentes

### A. Formation d'un doublet accolé

1. Accoller à la lentille divergente de vergence  $V_1$  inconnue une lentille mince convergente de vergence  $V_2$  connue.

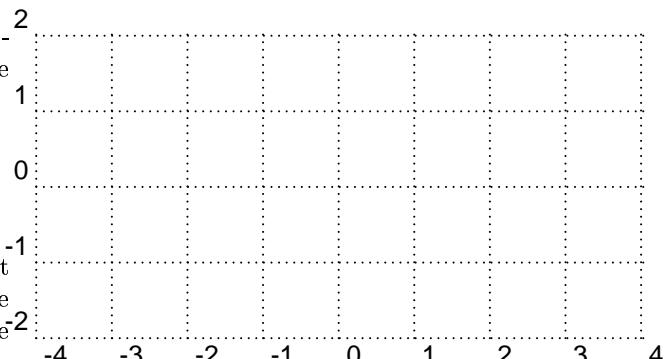
**Remarque :** on a choisi la lentille convergente à accoler de telle sorte que le système accolé de lentilles soit convergent.

La vergence de l'ensemble est :

$$V_{1+2} = V_1 + V_2$$

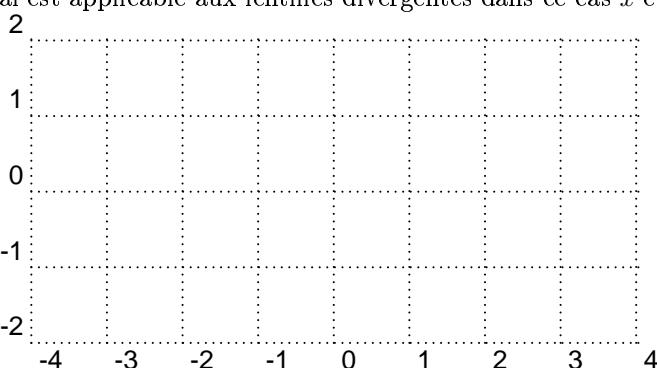
2. Utiliser une des méthodes vues précédemment pour déduire la vergence  $V_{1+2}$  de l'ensemble et, connaissant la vergence  $V_2$  de la lentille

convergente, déduire la vergence  $V_1$  de la lentille divergente.



### B. Méthode de Badal

La méthode de Badal est applicable aux lentilles divergentes dans ce cas  $x$  est positif.



# Mécanique



# TP : Étude du poids d'un corps

## Objectifs

- faire le lien entre l'intensité du poids et la masse d'un corps

## Matériel

- dynamomètre
- masselottes

## I. Montage

Le poids, comme toutes les forces se mesure avec un dynamomètre. Il en existe en spirale et des longitudinaux.

Chaque masse au repos exerce une force sur le corps qui la retient (elle est en équilibre). Ce corps peut être un support, une ficelle... La force qu'exerce la masse est son **poids**.

## II. Mesures

Mesurer les poids de quelques masselottes et compléter le tableau suivant :

$m$ (kg)									
$P$ (N)									

## III. Exploitation, conclusion

1. Construire une courbe où figureront en abscisse la masse  $m$  (en kg) et en ordonnée le poids  $P$  (en N).
2. Exploiter les paramètres de la courbe (Est-ce une droite ? Passe-t-elle par l'origine ? Quel est son coefficient directeur ? Quelle est l'unité de ce coefficient directeur ?).
3. Conclure sur la relation liant l'intensité  $P$  du poids et la masse  $m$ .



# TP : Étude de la tension d'un ressort

## Objectifs

- relier la tension qu'exerce un ressort avec son allongement

## Matériel

- masselottes
- ressort et support

## I. Montage

On dispose d'un ressort à spires non jointives, d'une potence comportant une règle graduée verticale et d'une boîtes de masses marquées à crochets.

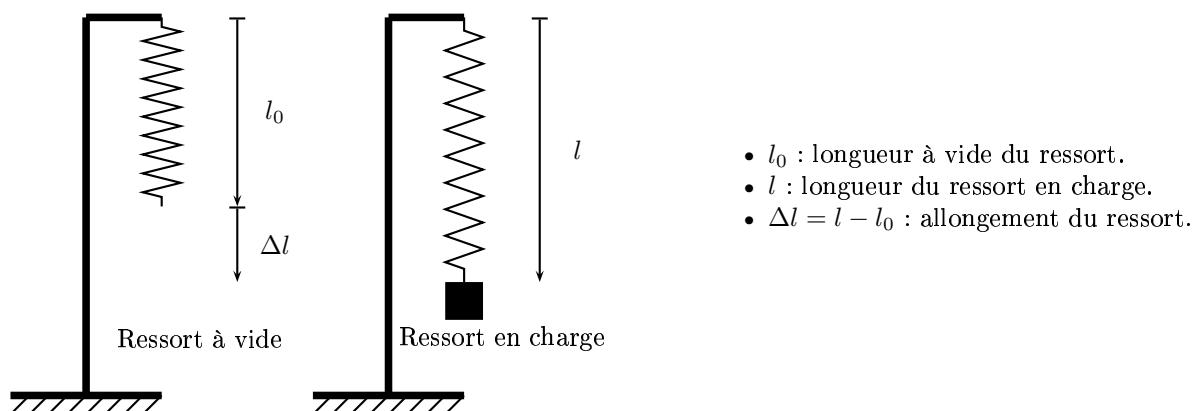


FIG. 1 – Ressort à vide et en charge

## II. Étude

Le système mécanique étudié est la masse  $m$ .

1. Faire le bilan des forces (extérieures) agissant sur la masse  $m$ .
2. Représenter les forces sur un schéma.
3. Énoncer la loi d'équilibre de la masse  $m$ . En déduire une relation liant l'intensité  $P$  du poids et la tension  $T$  du ressort.

### III. Mesures

1. Mesurer la longueur  $l_0$  du ressort à vide.
  
  
  
  
  
  
2. Poser différentes masses  $m$  à l'extrémité du ressort, mesurer la longueur du ressort en charge, déduire l'allongement  $\Delta l = l - l_0$  de celui-ci.

3. Noter les résultats expérimentaux dans le tableau suivant :

$m \text{ (kg)}$								
$P \text{ (N)}$								
$T \text{ (N)}$								
$\Delta l \text{ (m)}$								

4. Tracer la courbe  $T = f(\Delta l)$ .
  
  
  
  
  
  
5. Exploiter les paramètres de la courbe (Est-ce une droite ? Passe-t-elle par l'origine ? Quel est son coefficient directeur ? Quelle est l'unité de ce coefficient directeur ?).
  
  
  
  
  
  
6. En déduire la relation (vectorielle) liant la tension  $\vec{T}$  du ressort avec l'allongement de celui-ci.

# TP : Étude de la poussée d'Archimède

## Objectifs

- retrouver les caractéristiques de la poussée d'Archimède

## Matériel

- masselottes
- ressort
- éprouvette graduée remplie d'eau (puis d'huile)

## I. Montage

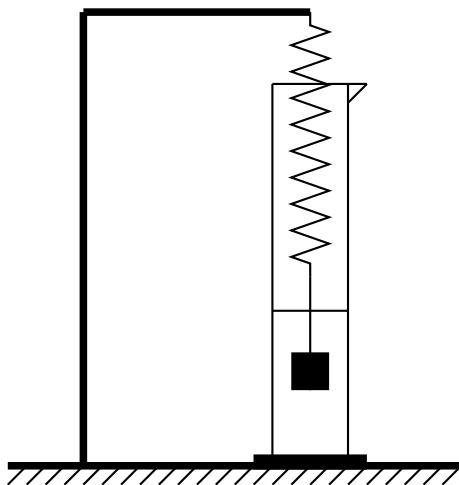


FIG. 1 – Vérification expérimentale de la poussée d'Archimède

1. Suspendre la masse marquée  $m = \dots \dots \dots$  au **même** ressort que celui étudié précédemment.
2. Noter le volume d'eau dans l'éprouvette à votre disposition.
3. Introduire la masse marquée dans l'éprouvette.
4. Réaliser les mesures nécessaires pour déterminer la valeur de la force de tension du ressort.
5. Noter le nouveau volume dans l'éprouvette.

## II. Mesures

1. Faire le bilan des interactions subies par la masse marquée. Nommer et représenter les forces correspondantes dans chaque cas.
2. Quelle est la condition de repos de la masse marquée dans l'éprouvette.
3. Réaliser les mesures nécessaires pour déterminer la valeur de la force de tension du ressort.
4. Noter le nouveau volume dans l'éprouvette.

## III. Exploitation des mesures

1. Faire le bilan des interactions subies par la masse marquée. Nommer et représenter les forces correspondantes dans chaque cas.
2. Quelle est la condition de repos de la masse marquée dans le référentiel terrestre ?
3. En déduire l'intensité  $\Pi_A$  de la poussée d'Archimède  $\overrightarrow{\Pi_A}$ , c'est à dire l'action de l'eau sur la masse.
4. Comparer cette valeur au poids du volume d'eau déplacé.

## IV. Généralisation et énoncé du théorème d'Archimède

1. Si le temps le permet, recommencer toute la démarche en remplissant l'éprouvette graduée avec de l'huile à la place de l'eau.
2. Retrouver l'énoncé du théorème d'Archimède sachant qu'il donne les caractéristiques de la force qu'exerce un fluide sur un objet immergé (utiliser la masse volumique du fluide pour donner l'expression de cette force)



# TP : Étude de l'équilibre d'un solide soumis à l'action de 3 forces

## I. Montage

Soit le dispositif suivant :

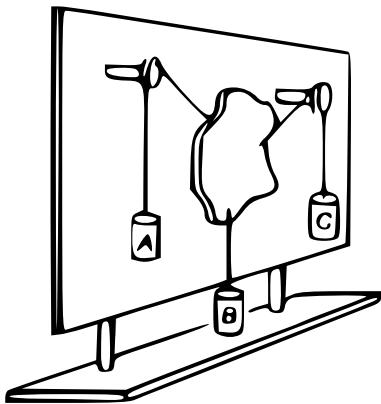


FIG. 1 – Dispositif expérimental

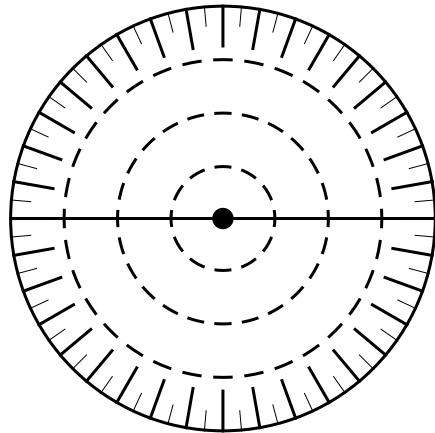


FIG. 2 – Rapporteur

## II. Mesures et interprétations

### A. Masses $m_A$ , $m_B$ , $m_C$

Soit les masses  $m_A$ ,  $m_B$ ,  $m_C$  exerçant des forces de traction sur les fils  $A$ ,  $B$ ,  $C$  et par suite sur le morceau de balsa ou polystyrène.

$$m_A = \dots \text{ kg.}$$

$$m_B = \dots \text{ kg.}$$

$$m_C = \dots \text{ kg.}$$

### B. Forces $P_A$ , $P_B$ , $P_C$ qu'exercent les fils $A$ , $B$ et $C$ sur le morceau de balsa

$$P_A = \dots = \dots \text{ N.}$$

$$P_B = \dots = \dots \text{ N.}$$

$$P_C = \dots = \dots \text{ N.}$$

### C. Angles entre les directions des fils $A$ , $B$ et $C$

$$(A, B) = \dots^\circ.$$

$$(B, C) = \dots^\circ.$$

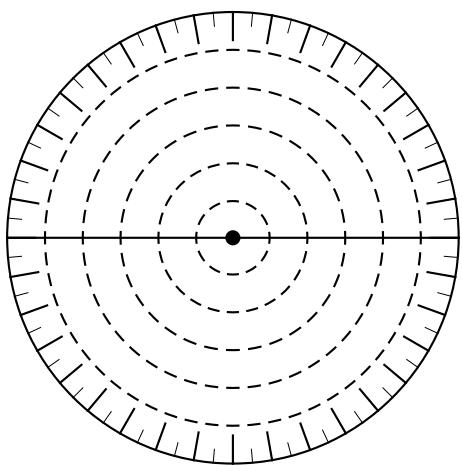
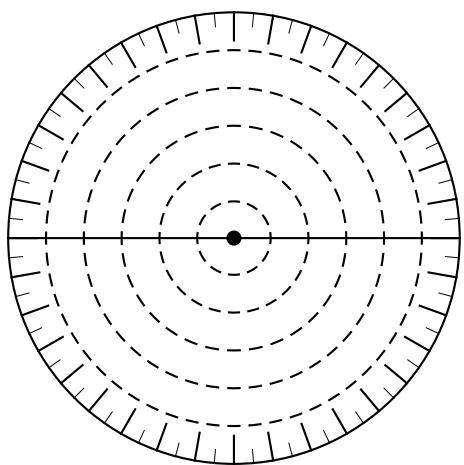
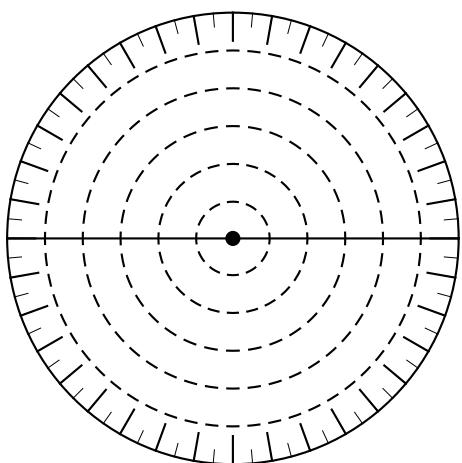
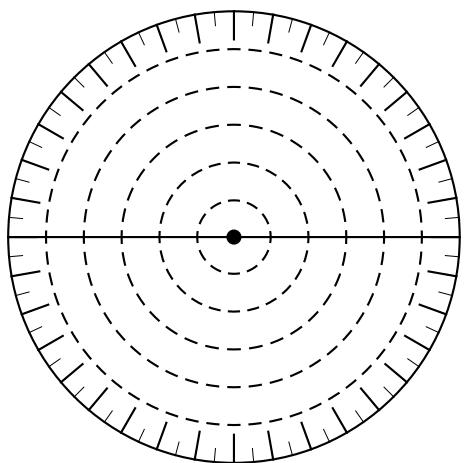
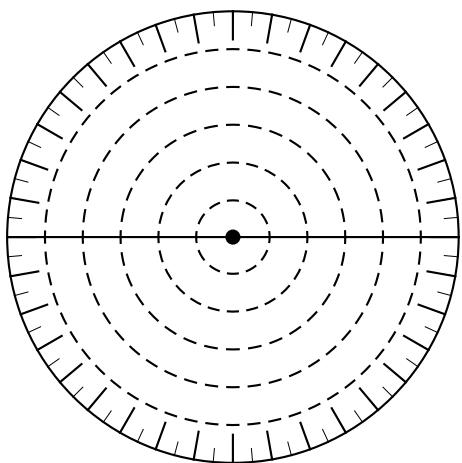
$$(C, A) = \dots^\circ.$$

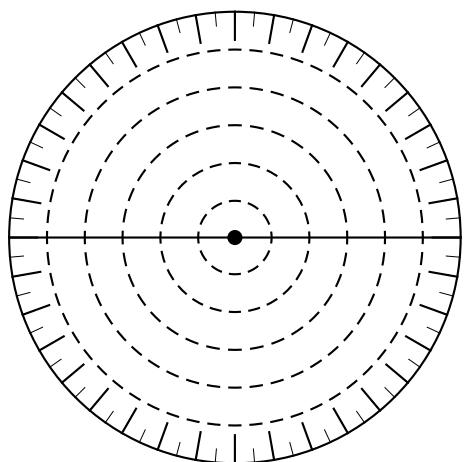
### D. Interprétations

1. Reporter les directions des fils à l'aide d'un rapporteur. Choisir une échelle et tracer les forces  $\vec{P}_A$ ,  $\vec{P}_B$ ,  $\vec{P}_C$ . En utilisant la relation de Chasles, construire géométriquement  $\vec{P}_A + \vec{P}_B + \vec{P}_C$ . Que constatez-vous ?
2. Écrire vectoriellement la condition d'équilibre d'un solide soumis à l'action de 3 forces .



# Divers rapporteurs pour la Physique





# TP : Moment d'une force par rapport à un axe

## Objectifs

- Trouver la condition de mise en rotation d'un objet.
- Trouver l'expression du moment d'une force par rapport à un axe.

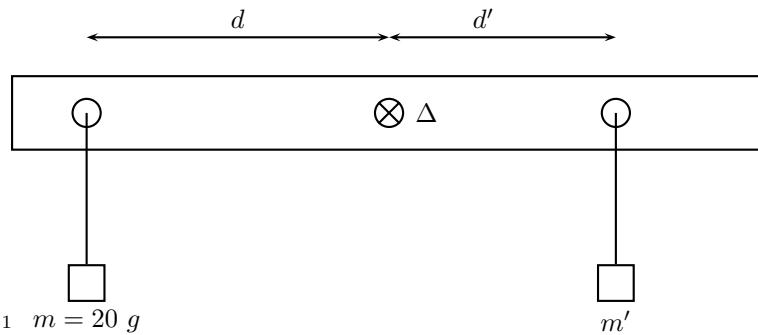
## I. Mise en rotation d'un solide



1. Fixer l'axe de rotation  $\Delta$  au milieu de la barre, puis, essayer de faire tourner cette dernière :
  - en appuyant dessus.
  - en la poussant ou en la tirant dans le sens de la longueur.
  - en la poussant ou en la tirant perpendiculairement à elle-même.
2. Faites un schéma du montage en faisant figurer la barre ; son axe de rotation et la force appliquée.
3. En comparant la direction de la force appliquée avec la direction de l'axe de rotation, conclure sur la condition de mise en rotation d'un solide autour d'un axe fixe.

## II. Moment d'une force - Règle du bras de levier

1. Reproduire le schéma suivant en indiquant  $F$  et  $F'$ .



2. Calculer la force  $F$  exercée par la masse  $m$  sur la demie barre gauche
3. Mesurer la distance  $d$
4. Calculer alors le produit  $F \cdot d$ . Quelle est son unité ?
5. En laissant la masse  $m$  à l'extrême gauche ; suspendez sur les différentes positions à une distance  $d$  de l'axe de rotation une masse  $m$  de telle sorte que la barre soit en équilibre.
6. Dresser alors un tableau de résultats expérimentaux :

masse $m'$			
Force $F'$ exercée par la masse $m'$			
$d'$			
$F' \cdot d'$			

7. Que pouvez vous dire du produit  $F' \cdot d'$  ?  
On appelle moment de la force  $F$  par rapport à l'axe  $\Delta$ , le produit  $M_\Delta(F) = \dots$  exprimé en  $\text{N} \cdot \text{m}$ .
8. En choisissant le sens des aiguilles d'une montre comme sens de rotation positif, si la force  $F$  tend à faire tourner le solide dans ce sens, alors son moment sera positif, si c'est le sens inverse son moment sera négatif.  
En raisonnant sur la barre, et sur les moments des forces qui s'appliquent dessus, donner la condition d'équilibre d'un solide soumis à un couple de moments.



# TP : Poules et palans

## Objectifs

- Utiliser la condition d'équilibre d'un solide soumis à plusieurs forces extérieures.
- Trouver expérimentalement les propriétés d'une poule.

## Matériel

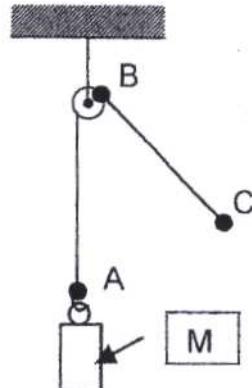
- poules
- balance électronique
- masse  $M = 200 \text{ g}$
- fil

## Données

- $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$
- Échelle des forces :  $1 \text{ cm} \iff 1 \text{ N}$

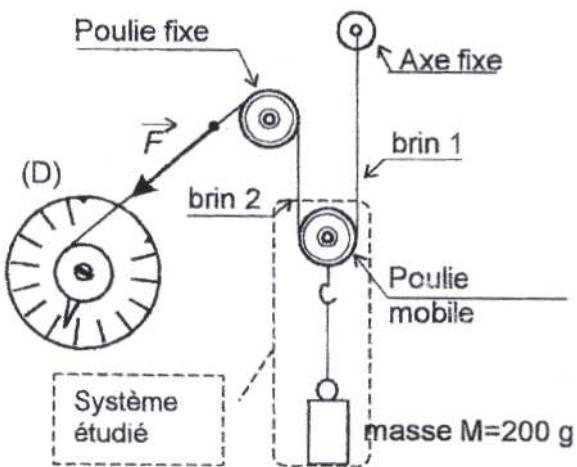
## I. Poule simple

1. Calculer le poids  $P$  de la masse  $M$ .
2. Représenter sur le schéma le poids et la tension du fil en  $A$  à l'équilibre.
3. Représenter la tension du fil en  $C$ .
4. Vérifier avec un dynamomètre le calcul de poids  $P$  de la masse  $M$ .
5. Réaliser le montage suivant.
6. *Mesurer la tension du fil en C et conclure sur l'intérêt de la poule.*



## II. Palan constitué d'une poule mobile associée à une poule fixe

1. À l'aide d'une balance, mesurer la masse d'une poule  $M_p$ .
2. Réaliser le montage suivant.
3. Faire vérifier le montage.
4. Mesurer l'intensité  $F$  de la force  $\vec{F}$  indiquée par le dynamomètre.  
Le système étudié est maintenant l'ensemble « masse + poule mobile ». Ce système possède une masse totale  $M_t$ .
5. Que vaut  $M_t$ . Calculer le poids  $P_t$  du système.
6. Comparer  $F$  et  $P_t$ . Quelle relation semble-t'il y avoir ?
7. *En effectuant un bilan des forces sur le système, expliquer votre résultat.*



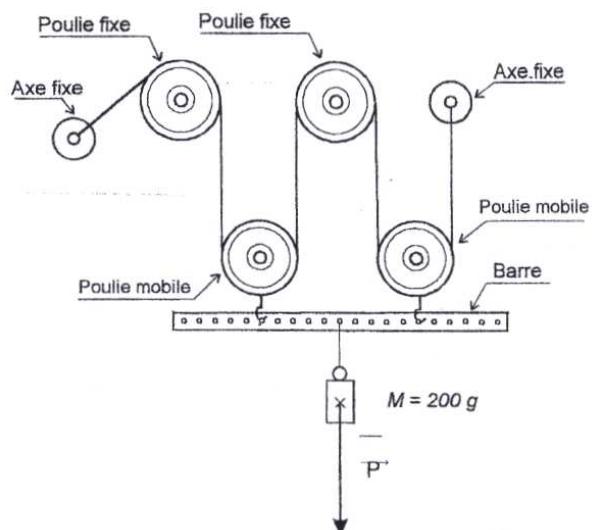
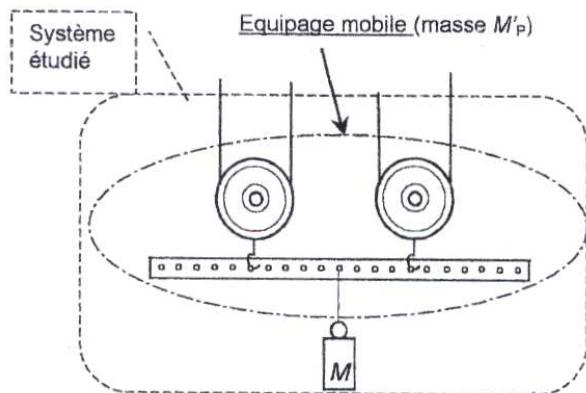
### III. Palan constitué de deux poulies associées à deux poulies fixes

On appellera **équipage mobile** (de masse  $M'P$ ) l'ensemble constitué de deux poulies mobiles ainsi que d'une réglette.

Le système à étudier ici est l'ensemble « équipage mobile + masse  $M$  ».

La masse totale du système est noté  $M_T$ .

1. À l'aide d'une balance, mesurer la masse de l'équipage mobile  $M'P$ .
2. Déduire de ceci la masse totale du système  $M_T$ .
3. Calculer le poids total  $P_T$  du système.
4. Réaliser le montage suivant.
5. Faire vérifier le montage
6. Remplacer l'un des axes fixes par un dynamomètre.
7. Mesurer l'intensité  $F'$  de la force  $\vec{F}'$  exercée par le dynamomètre pour maintenir le système en équilibre.
8. Comparer le poids total du système  $P_T$  à  $\vec{F}'$  l'intensité de la force  $F'$ .
9. *En effectuant un bilan des forces sur le système, expliquer le résultat obtenu.*

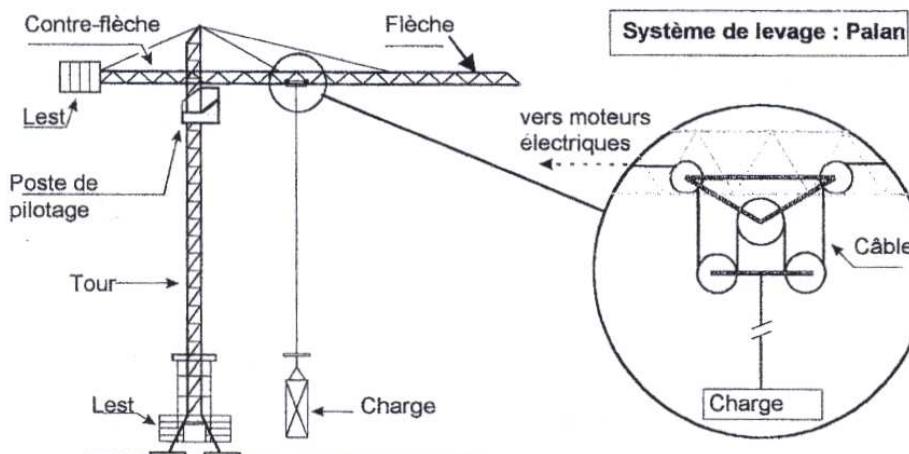


### IV. Application : la grue

Une grue doit soulever une charge utile  $m_u = 1 T$ .

La masse de son équipage mobile est  $m_e = 200 kg$ .

Quelle est la valeur de la force exercée par les moteurs qui tirent le câble pour monter la charge ?



Première  
Scientifique  
Partie Physique



# Intéractions fondamentales



# Les particules élémentaires

## I. Les charges électriques

Les expériences d'électrisation montrent qu'il existe 2 espèces de charges électriques : celles qui apparaissent sur le verre frotté avec du drap, nommées charges positives et celles qui apparaissent sur l'ébonite frottée avec la fourrure, nommées charges négatives.

- Des charges électriques de même nature ou signe se repoussent.
- Des charges électriques de signes contraires s'attirent.
- Un objet possédant autant de charges positives que de charges négatives est dit électriquement neutre.

Dans le système international, une charge électrique notée  $q$  se mesure en coulomb (C).

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$$

La charge électrique portée par une particule ne peut prendre que des valeurs multiples de

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

**Principe de conservation :** la charge électrique totale d'un système isolé (coupé du reste de l'univers) est constante.

## II. Les particules élémentaires

cf fiche préfixes femto, pico, nano, micro, milli, centi, déci, déca, hecto, kilo, méga, giga, téra.

### A. L'électron

- Constituant du nuage électronique
- $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

### B. Le proton

- Constituant du noyau atomique
- $q_p = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- $r = 1,2 \text{ fm}$

### C. Le neutron

- Constituant du noyau atomique
- $q_n = 0 \text{ C}$
- $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

## III. La matière

### A. Noyau et interaction forte

On représente le noyau d'un atome par le symbole  ${}^A_Z X$ . Le noyau comporte  $Z$  protons et  $N$  neutrons, soit en tout  $A$  nucléons.

$$A = Z + N$$

Protons et neutrons sont liés entre eux par des forces nucléaires attractives qui constituent l'interaction forte (rien à voir avec les forces gravitationnelles ou les forces électrostatiques). Elle porte à très courte  $d = 1,2 \text{ fm}$  environ et devient répulsive si  $d \leq 0,3 \text{ fm}$ .

## B. Charge, dimension et densité du noyau

La charge électrique du noyau est égale à la somme des charges des protons :  $q_{\text{noyau}} = Z.e$ .

Le volume  $V_0$  d'un nucléon est celui d'une sphère de rayon  $r_0 = 1,2 \text{ fm}$



FIG. 1 – Représentation du noyau d'un atome

$$V_0 = \frac{4}{3}\pi r_0^3$$

Le volume du noyau :  $V = A \cdot V_0$ . On peut aussi assimiler le noyau à une sphère de rayon  $r$ .

$$V = A \frac{4}{3}\pi r_0^3 = \frac{4}{3}\pi r^3$$

Soit  $A r_0^3 = r^3$  donc

$$r = r_0 A^{1/3}$$

La masse  $m$  d'un noyau est peu différente de la somme des masses des nucléons qui le constituent :  $m = A \cdot m_0$

Sa **masse volumique** est  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{A \cdot m_0}{A \cdot V_0} = \frac{m_0}{V_0} = \frac{1.673 \cdot 10^{-27}}{\frac{4}{3}\pi(1,2 \cdot 10^{-15})^3} = 2,31 \cdot 10^{17} \text{ kg.m}^{-3}$

La masse volumique de la matière nucléaire est colossale : plus de 230 000 tonnes/mm<sup>3</sup>. Les étoiles à neutrons ont des densités qui atteignent cette valeur.

## C. L'atome et l'interaction électromagnétique

Les forces électriques qui agissent entre le noyau d'un atome et les électrons du cortège environnant constituent l'**interaction électromagnétique**. Cette interaction de longue portée est responsable de la cohésion de l'atome et de la stabilité des molécules ou des objets qui nous entourent.

## D. Les isotopes

On appelle **isotopes**, des atomes ayant le même nombre de protons mais des nombres de neutrons différents.

- iso = même
- tope = position ou place

**Exemple :**  ${}^{235}_{92}\text{U}$  ;  ${}^{238}_{92}\text{U}$  ;  ${}^{239}_{92}\text{U}$  sont trois isotopes de l'uranium.

## IV. Conducteurs électriques et isolants

- **Métaux** : en moyenne un e- par atome est libre. On peut donc considérer un métal comme formé d'un réseau de cations dans lequel les e- libres peuvent se déplacer.

**Envisager un schéma.**

- **Les électrolytes** : il s'agit de solutions contenant des espèces ioniques (cations ou anions) mobiles.
- **Les isolants** : ils sont formés d'atomes, molécules ou ions occupant une position déterminée et ne possèdent pas d'e- libres.

**Exemple** : cristal de chlorure de sodium, de diamant, éthanol.

On peut distinguer un conducteur d'un isolant à l'aide de la **machine de Wimshurst**.

- Si le matériau testé est conducteur, la boule de la machine délivre des électrons, au matériau et au pendule qui de ce fait s'en écarte.
- S'il est isolant, l'électrisation n'a lieu que dans la zone de contact avec la boule, à cause de l'absence de porteurs de charge mobiles.

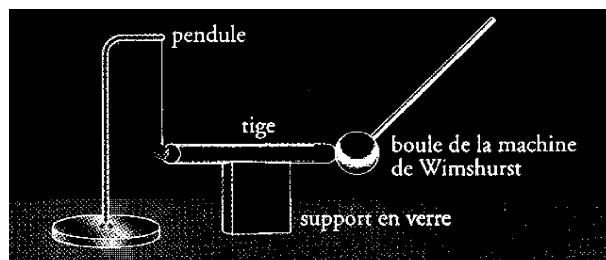


FIG. 2 – Ce matériau est-il isolant ou conducteur ?

## V. Les phénomènes d'électrisation

### A. Électrisation par *frottement*

Quand on frotte l'un contre l'autre 2 corps différents, l'un arrache des électrons à l'autre. Celui qui a gagné des électrons est chargé négativement, l'autre est alors chargé positivement.

Si l'objet électrisé est isolant, les charges électriques, incapables de se déplacer restent localisées sur celui-ci.

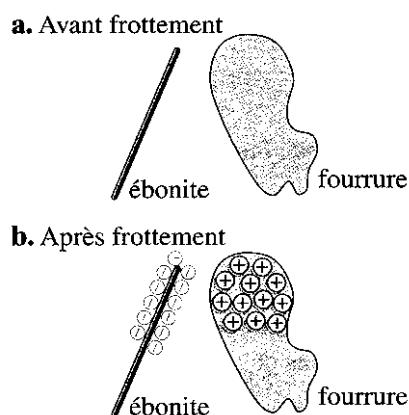


FIG. 3 – Électrisation par frottement

### B. Électrisation par *influence*

- **Le phénomène d'influence :** Approchons un bâton d'ébonite électrisé négativement d'un conducteur métallique  $C_1$  neutre porté par un support isolant. Les charges + ou - qui apparaissent sur le conducteur sont uniquement localisées. Celui-ci reste globalement neutre.
- **Charge par influence :** si à ce moment là on touche le métal  $C_1$  par sa gauche, avec un autre conducteur  $C_2$  (sans pour autant retirer l'ébonite influençante), les électrons initialement concentrés à gauche de  $C_1$  se répartissent sur l'ensemble de 2 conducteurs. Après séparation,  $C_1$  ne sera plus neutre mais chargé positivement et  $C_2$  négativement. Nous dirons que les métaux ont été chargés par influence (+ contact).
- **Cas des isolants :** ici les électrons ne sont pas libres. Quand on approche un bâton d'ébonite chargé négativement d'une telle substance, chaque atome voit son nuage d'électrons repoussé. L'atome se déforme et présente un excès d'électrons d'un côté et un défaut de l'autre. L'isolant s'est polarisé (non-coïncidence du barycentre des charges + et -). Ainsi en est-il des morceaux de papier attirés par un bâton d'ébonite chargé.

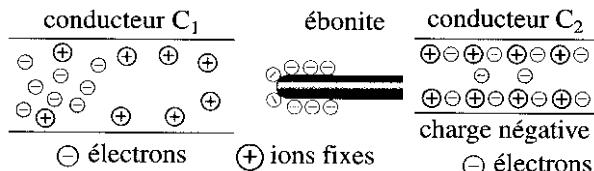


FIG. 4 – On approche le bâton d'ébonite du conducteur  $C_1$  : influence.

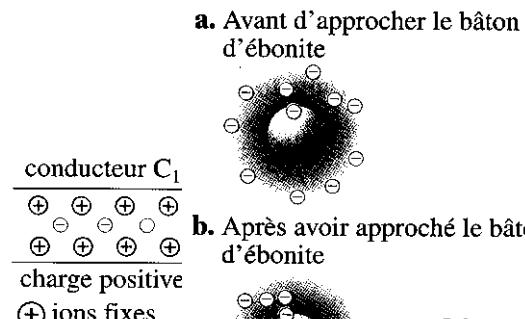


FIG. 5 – Avec  $C_2$ , on touche  $C_1$  par la droite, du côté des charges - : charge par influence.

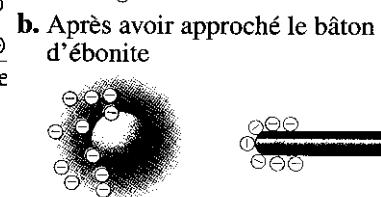


FIG. 6 – Cas des isolants : le nuage électronique est déformé : influence.

### C. Autres procédés d'électrisation

- **Piézo-électricité** : propriété qui caractérise les substances telles les cristaux de quartz se polarisant lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique.
- **Pyro-électricité** : propriété qui caractérise les substances qui se polarisent lorsqu'elles sont chauffées.

**Remarque** : paille pour boire, frottée avec papier mouchoir. Approchée d'un filet d'eau coulant du robinet, celui-ci est attiré. Les molécules d'eau sont polarisées.

# Les interactions fondamentales

## I. Interaction gravitationnelle

### A. La loi de Newton

Deux objets ponctuels de masses  $m_1$  et  $m_2$  exercent l'un sur l'autre des forces d'interaction gravitationnelle attractives, dont la valeur est proportionnelle à chacune des masses et inversement proportionnel au carré de la distance  $d$  qui les sépare.

$$\|\overrightarrow{F_{2/1}}\| = \|\overrightarrow{F_{1/2}}\| = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

- $F$  et  $F'$  sont exprimés en newton ( $N$ )
- $m$  et  $m'$  en  $kg$
- $d$  en  $m$

Ces 2 forces ont même direction, des sens contraires et même valeur.

$$\overrightarrow{F_{2/1}} = -\overrightarrow{F_{1/2}}$$

$G$  est appelée **constante universelle de gravitation**.

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot kg^{-2} \cdot m^2$$

Cette loi s'applique aussi à des objets non ponctuels si la répartition des masses est à symétrie sphérique, c'est à dire si la masse volumique  $\rho$  ne dépend que de la distance au centre de symétrie.  $d$  est alors la distance entre les centres de symétrie.

Cette force est très faible sauf si les masses mises en jeu sont colossales.

### B. Le poids d'un corps

Tout objet de masse  $m$ , situé au voisinage de la surface de la Terre est soumis à une force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre. À sa surface, la valeur de cette force est :

$$F_0 = G \frac{M_T \cdot m}{R_T^2}$$

À la surface de la Terre, le poids d'un objet est  $P_0 = m \cdot g_0 = G \frac{M_T \cdot m}{R_T^2}$ .

On définit ainsi l'**intensité de la pesanteur terrestre** :

$$g_0 = G \frac{M_T}{R_T^2} = 9,80 N \cdot kg^{-1}$$

En un point d'altitude  $z$ , la force gravitationnelle agissant sur un objet de masse  $m$  est :

$$F = G \frac{M_T \cdot m}{(R_T + z)^2}$$

En reportant l'expression de  $g_0$  dans celle de  $F$ , on obtient l'expression du poids :

$$P = m \cdot g = F = m \cdot g_0 \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2}$$

Le poids d'un objet diminue quand l'altitude  $z$  augmente.

$$g = g_0 \frac{R_T^2}{(R_T + z)^2}$$

Pour  $z = 10 km$ ,  $g = 9,77 N \cdot kg^{-1}$ .

**Exemple** : si la Lune tourne autour de la Terre, c'est qu'elle n'en finit pas de tomber. La force gravitationnelle est la cause de son mouvement.

## II. Interaction électrostatique

### A. La loi de Coulomb

Deux charges électriques  $q_1$  et  $q_2$  exercent l'une sur l'autre des forces d'interaction électrostatique, dont la valeur est proportionnelle à chacune des charges et inversement proportionnelle au carré de la distance  $d$  qui les sépare :

$$\|\overrightarrow{F}_{2/1}\| = \|\overrightarrow{F}_{1/2}\| = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

- $F_{2/1}$  et  $F_{1/2}$  en  $N$
- $d$  en  $m$
- $q_1$  et  $q_2$  en  $C$
- $k$  : constante dépendant du milieu,  $k = 9.109 N.C^{-2}.m^2$  dans le vide ou l'air.

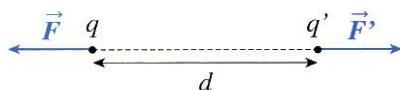


FIG. 1 – Les deux charge ont le même signe : elles se repoussent.

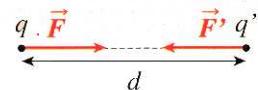


FIG. 2 – Les deux charges ont des signes différents : elles s'attirent.

**Exemple :** Calculer la valeur identique de 2 charges situées à  $d = 1 m$  l'une de l'autre subissant une force d'interaction de  $1 N$ .

### B. Interaction entre plusieurs charges électriques

Considérons un ensemble de 3 charges ponctuelles. Dans ce cas, chacune des charges sera soumise à l'influence des 2 autres.

### C. Interaction électrostatique et stabilité des noyaux

La stabilité des noyaux est assurée par l'interaction forte entre un nucléon et ses voisins proches. Cependant l'interaction électrostatique entre protons est répulsive et existe. De ce fait, les noyaux lourds et riches en protons sont instables et se désintègrent parfois en noyaux + légers en libérant des particules d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ . Il n'existe pas de noyaux stables contenant plus de 83 protons.

### D. Atomes et interaction électromagnétique

Entre l'électron et le proton de l'atome d'hydrogène, la loi de Coulomb nous donne :

$$F_e = k \frac{e^2}{r^2} = 8,20 \cdot 10^{-8} N$$

La force d'interaction gravitationnelle est donnée par la loi de Newton :

$$F_g = G \frac{m_e \cdot m_p}{r^2} = 3,61 \cdot 10^{-47} N$$

L'intensité de cette force est négligeable par rapport à la précédente.

### E. Les dipôles électriques

Un dipôle est formé par une paire de charges électriques ponctuelles opposées  $q$  et  $-q$  proches l'une de l'autre. Certaines molécules possèdent un caractère dipolaire car les atomes constitutifs présentent une différence d'électronégativité.



FIG. 3 – Deux charges opposées proches l'une de l'autre forment un dipôle.

**Exemple :** l'eau.

## F. Les solides et l'interaction électrostatique

### 1. Les solides ioniques

Edifices cristallisés formés d'un empilement compact et ordonné de cations et d'anions. La cohésion du cristal est assurée par l'interaction électrostatique entre ces ions (liaison ionique). Ex : cristal cubique de chlorure de sodium. Réseau CFC des ions  $Cl^-$  avec occupation des sites octaédriques par les ions  $Na^+$  ou vice versa.

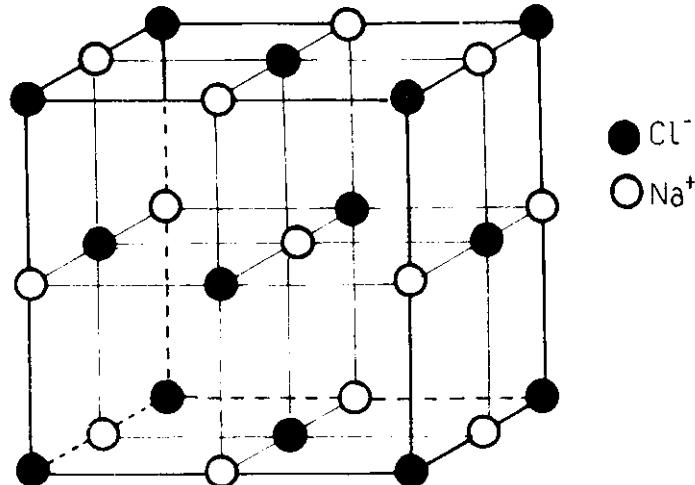


FIG. 4 – Réseau CFC de chlorure de sodium

### 2. Les solides moléculaires

Corps cristallisés où les molécules **polaires** sont empilées périodiquement dans l'espace.

**Exemple :** l'eau.

## III. Comparaison des 2 interactions

### *Interaction gravitationnelle*

$$F_g = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Toujours attractive

La force existant entre particules élémentaires est faible.

Les effets des grandes masses se cumulent toujours.

### *Interaction électrostatique*

$$Fe = k \frac{|q_1||q_2|}{d^2}$$

Tantôt attractive, tantôt répulsive

La force existant entre particules élémentaires chargées est importante.

Les effets des charges électriques algébriques se neutralisent à grande échelle.



# L'électroscop

D'après <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/maussion/elecstat>

## Fonctionnement de l'électroscop

L'écartement des feuilles augmente avec la quantité de charges. Lorsqu'il est déjà chargé, cet écartement varie selon le signe des nouvelles charges.

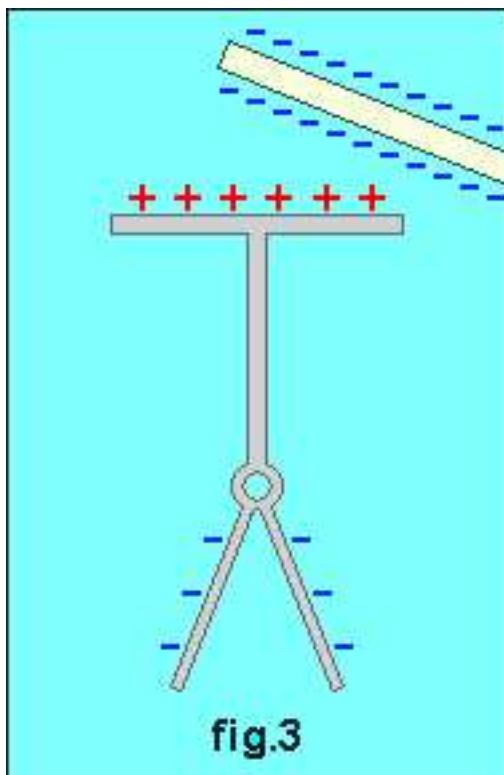
Pour faire les expériences suivantes vous devez en entreprendre la construction. Ce n'est pas le plus rapide à réaliser, mais il vous étonnera par son extrême sensibilité.

Par comparaison vous pourrez très facilement sélectionner les pailles qui s'électrisent le mieux.



Approcher un objet chargé du plateau de l'électroscop a pour effet d'y attirer des charges de signe opposé au détriment des feuilles. On peut dire que cela revient à repousser vers les feuilles des charges de même signe que celles de l'objet.

Les feuilles prenant toutes deux la même charge, il y a répulsion et elles s'écartent.



Le premier électroscopie à feuilles d'or est dû à Charles de Cisternay du Fay. Il lui a permis de :

- distinguer les électricités résineuses et vitrées (1728).
- montrer que les substances que Gilbert pensait ne pas s'électriser le pouvaient si on les tenait par l'intermédiaire d'un isolant. C'était la conduction du corps de l'opérateur qui les déchargeaient.
- établir la conduction des charges par une corde de chanvre humide de 400 m (1733).
- établir la conductivité des flammes.

## Charge par contact

### Méthode directe

Tapotez plusieurs fois le plateau de l'électroscopie avec une paille électrisée.



En éloignant la paille les feuilles restent écartées.



La difficulté vient aussi du fait que dès que l'électroscope commence à se charger, le nouveau point de la paille en contact doit être encore plus chargé pour que le transfert soit efficace.

L'opération est un peu laborieuse car seules les charges du point de contact peuvent passer dans l'électroscope et se répartir sur le plateau, la tige et les feuilles.

Il est plus facile d'y arriver indirectement de manière indirecte.

#### Méthode indirecte

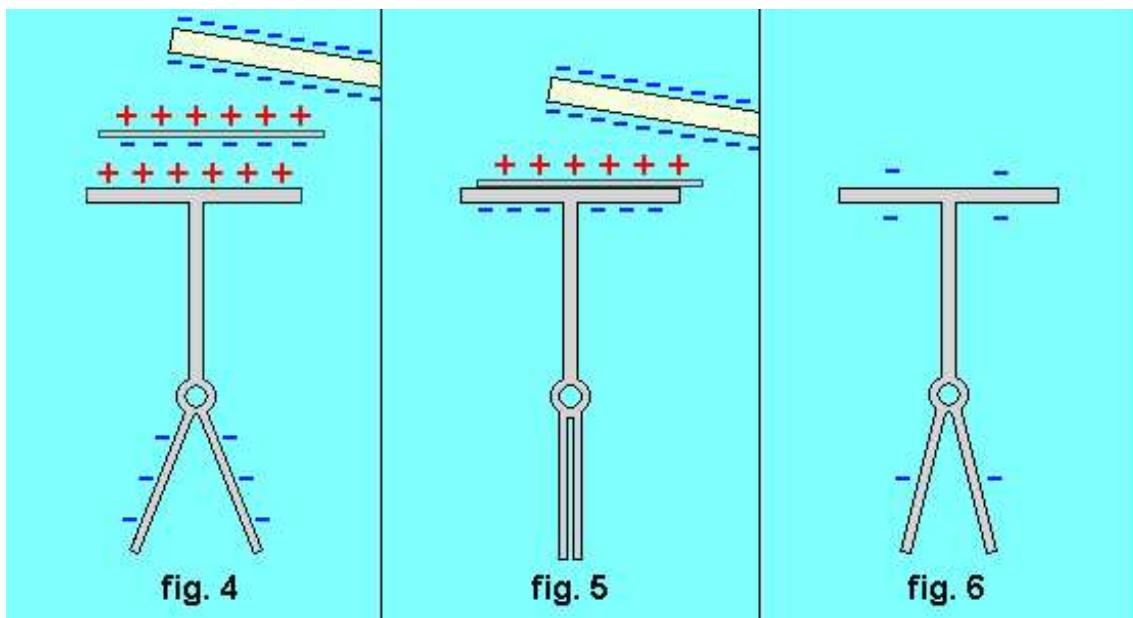
Approchez une paille électrisée en interposant un carré d'aluminium.



Faites contact avec le plateau.



La paille négative attire des charges positives sur la face du métal en regard et comme celui-ci est neutre la face tournée vers le plateau devient négative. Lors du contact une partie de ces charges se répartit sur l'électroscopie et y reste si on enlève simultanément la paille et le métal.



Lors du contact de deux conducteurs la somme (algébrique) des charges qu'ils portent est conservée. Elle se répartit entre les deux corps grossièrement en proportion de leur surface et un peu en fonction de leur forme. Si les deux conducteurs ont la même dimension et la même forme ils portent après le contact la même charge.

Donc si on met en contact une sphère chargée avec une sphère identique mais neutre elles emportent chacune la moitié de la charge initiale. C'est en utilisant ce procédé que Charles Coulomb a pu montrer que la force entre deux charges est proportionnelle à la valeur de chacune des charges donc à leur produit.

Avant de découvrir les conducteurs Stephen Gray s'aperçoit (1727) que les corps ne s'électrisent pas seulement par frottement mais qu'il peuvent aussi acquérir la propriété d'attirer des petits objets si on les met en contact avec un corps déjà électrisé.

## Décharge de l'électroscopé



Électroscopé chargé



Touchez du doigt le plateau : les feuilles retombent.

À l'instant du contact, l'électroscopé ( plateau + tige + feuilles ) et le corps de l'opérateur ne forment plus qu'un seul conducteur à la surface duquel les charges initialement sur l'électroscopé se répartissent. La surface de l'électroscopé étant très petite par rapport à celle du corps, il ne reste quasiment plus de charges sur l'électroscopé. Cela est d'autant plus vrai que, à moins que l'opérateur ne soit isolé du sol, le conducteur en contact avec l'électroscopé est en fait la terre, dont la surface est immense !

## Processus de la charge par influence



Approchez une paille électrisée d'un côté du plateau de l'électroscopie.



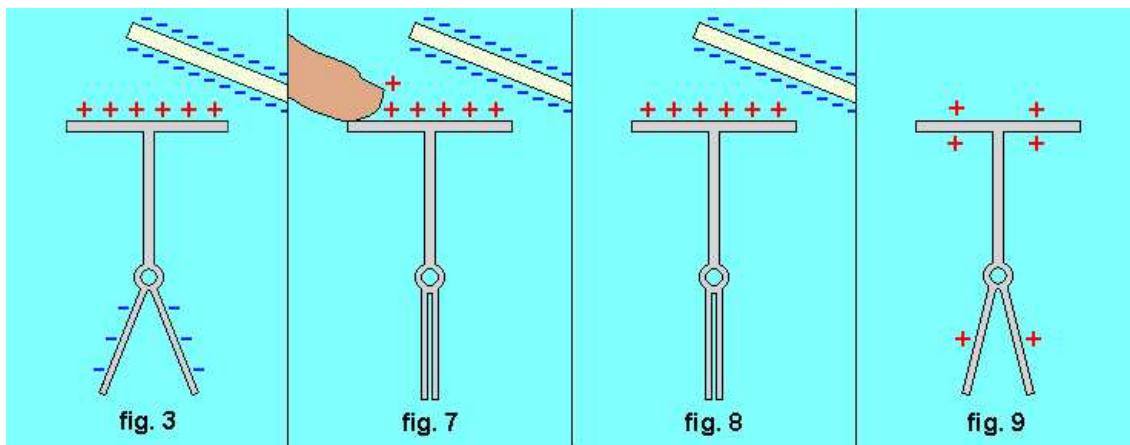
Touchez du doigt l'autre côté : les feuilles retombent.



Retirez le doigt : rien ne change



Retirez la paille : l'électroscop e reste chargé.



La première étape (fig. 3) correspond à l'expérience intitulée "électroscopie" : les feuilles sont négatives comme la paille.

En touchant le plateau du doigt (fig. 7), l'électroscopie se décharge (voir l'expérience sur la charge et décharge par contact). Ici, il y a une différence essentielle : l'influence de la paille. Le plateau reste positif et seules les charges négatives des feuilles, qui sont loin de cette influence, s'écoulent dans le sol, à travers le corps de l'opérateur. L'électroscopie est devenu positif.

En retirant le doigt (fig. 8), on l'isole et il conservera sa nouvelle charge.

En retirant la paille (fig. 9), on supprime son influence et les charges positives se répartissent librement entre le plateau et les feuilles.

L'électrisation par influence a été découverte en 1754 par John Canton.

## Le pouvoir des pointes



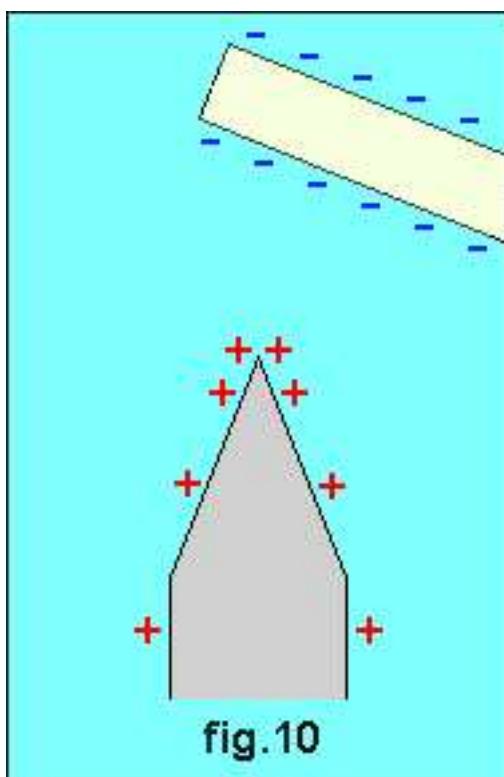
Placez une paille chargée à proximité des pointes.



Éloignez-la : l'électroscopie reste chargé.

La répartition des charges à la surface d'un conducteur dépend des influences et de sa forme.

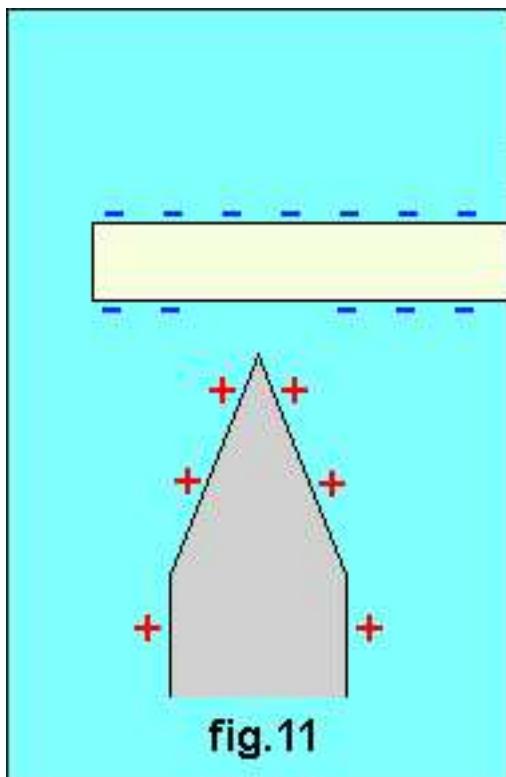
Plus le rayon de courbure est faible, plus il y a concentration ( fig. 10).



Lorsque la paille passe tout près, l'accumulation des charges positives apparues par influence à l'extrémité de la pointe est si grande qu'elles vont être expulsées et neutraliser localement les charges négatives de la paille (fig. 11).

La pointe a perdu autant de charges positives que la paille de charges négatives.

Finalement c'est comme si l'électroscopie avait pris des charges négatives à la paille.



# Vitesses et mouvements



# Vitesse et mouvement

## I. Rappels

### A. Référentiels et repères

Le corps *solide*, par rapport auquel on étudie le mouvement d'autres corps, est appelé *référentiel*  $\mathcal{R}$ .

On peut, par exemple, considérer les référentiels suivants :

- référentiel terrestre :  $\mathcal{R}_T$
- référentiel géocentrique :  $\mathcal{R}_G$
- référentiel héliocentrique (ou de Copernic)  $\mathcal{R}_H$

Pour repérer plus facilement la position d'un objet dans un référentiel, on définit un *repère* : c'est un système d'axes lié au référentiel c'est à dire immobile par rapport au référentiel.

- Un repère du référentiel héliocentrique a pour origine le centre du Soleil et ses axes sont dirigés vers 3 étoiles fixes. Dans ce repère, le centre de la Terre décrit presque un cercle.
- Un repère du référentiel de Copernic a pour origine le centre d'inertie du système solaire, ses axes sont dirigés vers 3 étoiles fixes. Référentiel de Copernic et référentiel héliocentrique sont assimilables.
- Un repère du référentiel géocentrique a pour origine le centre de la Terre, ses axes restent parallèles à ceux d'un repère du référentiel héliocentrique. Dans ce référentiel, la Terre est animée d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe fixe Nord-Sud.

### B. Trajectoire

La trajectoire d'un point mobile dans un référentiel est la ligne constituée par l'ensemble des positions successives qu'il occupe au cours du temps. Elle dépend du référentiel d'étude.

### C. Repérage d'un point

Un point M dans un plan est repéré à tout instant par ses coordonnées  $(x, y)$ .

### D. Solides et systèmes matériels

Un système matériel est un objet (ou groupe d'objets) que l'on sépare arbitrairement de son environnement pour l'étudier.

### E. Point matériel

Un objet peut être assimilé à un point matériel si ses dimensions sont négligeables à l'échelle du problème à résoudre.

## II. Centre d'inertie d'un solide

Il existe toujours un point du solide dont le mouvement est plus simple que les autres. Ce point est le centre d'inertie  $G$  du solide.

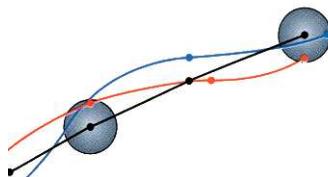


FIG. 1 – Mouvement de 3 points d'un mobile

Lorsque le solide est homogène et de forme géométrique simple,  $G$  est confondu avec le centre géométrique.

### III. Vitesse d'un point mobile

#### A. Vitesse moyenne

$$V_{\text{moyenne}} = \frac{l}{\tau}$$

- $l$  longueur parcourue en  $m$
- $\tau$  durée du trajet en  $s$
- $V$  en  $m.s^{-1}$

#### B. Vitesse instantanée

La vitesse instantanée  $v(t_2)$  d'un point mobile à l'instant  $t_2$  est égale à sa vitesse moyenne calculée entre deux dates  $t_1$  et  $t_3$  aussi rapprochées que possible de la date  $t_2$  :

$$v(t_2) = \frac{\widehat{M_1 M_3}}{t_3 - t_1}$$

On peut confondre la longueur de l'arc  $\widehat{M_1 M_3}$  avec celle du segment  $[M_1 M_3]$  si l'intervalle de temps  $t_3 - t_1$  est très petit.

Si  $v_{\text{instantane}} = \text{constante}$ , le mouvement est dit ***uniforme***, sinon il est ***varié***.

#### C. Vecteur vitesse

La connaissance de la vitesse instantanée d'un mobile ne suffit pas à savoir où il se trouvera l'instant d'après. Il est nécessaire de définir un vecteur vitesse :

À l'instant  $t$ , le vecteur vitesse  $\overrightarrow{v(t)}$  d'un point mobile  $M$  a pour caractéristiques :

- ***Point d'application*** : la position  $M$  qu'occupait le mobile à l'instant  $t$ .
- ***Direction*** : celle de la tangente à la trajectoire au point occupé par  $M$  mobile à l'instant  $t$  (voir schéma précédent)
- ***Sens*** : celui du mouvement à l'instant  $t$
- ***Norme*** : valeur de la vitesse instantanée à l'instant  $t$

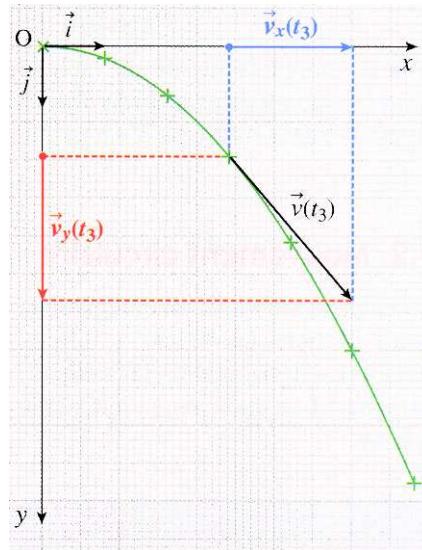
#### D. Composantes du vecteur vitesse

La connaissance d'un vecteur passe souvent par celle de ses coordonnées dans le repère choisi.

$$\overrightarrow{v(t)} = \overrightarrow{v_x(t)} + \overrightarrow{v_y(t)} = v_x(t) \overrightarrow{i} + v_y(t) \overrightarrow{j}$$

Par projection orthogonale du vecteur vitesse sur les 2 axes du repère, on obtient ses composantes  $v_x$  et  $v_y$  (qui sont ***algébriques*** c'est à dire qui peuvent être positive ou négative).

Si on définit un angle  $\alpha$  :  $v_x(t) = v(t) \cdot \cos \alpha$  et  $v_y(t) = v(t) \cdot \sin \alpha$

FIG. 2 – Composantes  $v_x$  et  $v_y$  du vecteur vitesse

## IV. Étude de quelques mouvements d'un *point mobile*

### A. Mouvement rectiligne uniforme

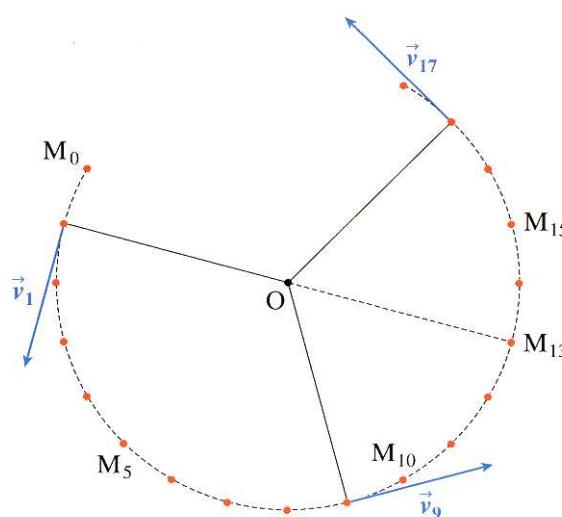
Les positions successives du point  $M$  sont *alignées* : le mouvement est *rectiligne* (différent de circulaire ou curviligne). Schéma.

Elles sont régulièrement espacées et le mobile va toujours dans le même sens : le mouvement est *uniforme* (opposé de varié).

Si le mouvement est rectiligne uniforme, le *vecteur* vitesse est constant (même direction, sens et norme).

### B. Mouvement circulaire

Lorsque le mouvement est *circulaire et uniforme*, la direction du vecteur vitesse est portée par la tangente au cercle au point considéré. Cette direction change lorsque  $M$  se déplace sur sa trajectoire. Le vecteur vitesse n'est donc pas constant, seule son intensité l'est.



échelle : 1/5  
Pour les vecteurs vitesses : 2 cm  $\leftrightarrow$  1 m·s<sup>-1</sup>

FIG. 3 – Mouvement circulaire

Comment déterminer la valeur de la vitesse instantanée ?

$$v(t_9) = \frac{\widehat{M_8 M_{10}}}{\Delta t}$$

On note  $\alpha$  l'angle entre  $OM_8$  et  $OM_9$  (c'est d'ailleurs le même qu'entre  $OM_9$  et  $OM_{10}$ ).

$$v(t_9) = \frac{R \cdot 2\alpha}{2\tau}$$

$$v(t_9) = R \cdot \frac{\alpha}{\tau}$$

## V. Étude de quelques mouvements d'un solide non ponctuel

### A. Mouvement de translation rectiligne

Tous les points d'un solide en translation ont, à chaque instant, le même vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  et chaque segment du solide reste parallèle à lui-même au cours du déplacement.

On distingue 2 cas :

- Les trajectoires des différents points du solide sont des droites : le solide est animé d'un mouvement de ***translation rectiligne***
- Les trajectoires des différents points du solide sont des courbes superposables : il est animé d'un mouvement de ***translation curviligne***

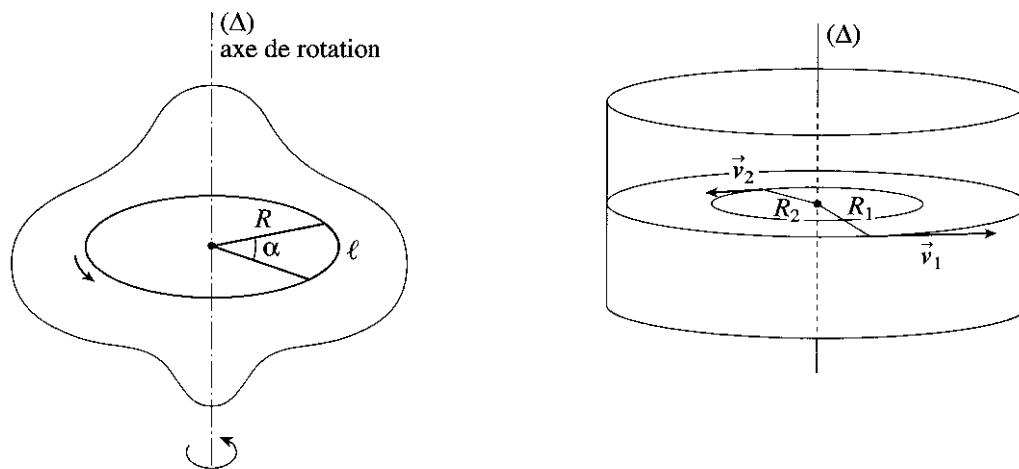
### B. Mouvement de rotation autour d'un axe fixe $\Delta$

Au cours de la rotation d'un disque, deux rayons de ce disque tournent du même angle  $\alpha$  durant le même intervalle de temps. On dit qu'ils tournent avec la même **vitesse angulaire**  $\omega$ .

La vitesse angulaire  $\omega$  d'un solide mobile autour d'un axe fixe est donnée par la relation :

$$\omega = \frac{\alpha}{\tau}$$

- $\alpha$  en rad
- $\tau$  en s
- $\omega$  en  $\text{rad.s}^{-1}$



#### 1. Relation entre $v$ et $\Omega$

Un point  $M$  situé à la distance  $R$  de l'axe de rotation  $\Delta$  décrit durant l'intervalle de temps  $\tau$  un arc de cercle de longueur  $l = R \cdot \alpha$

$$v = \frac{l}{\tau} = \frac{R\alpha}{\tau} = R \frac{\alpha}{\tau} = R \cdot \omega$$

## 2. Mouvement de rotation uniforme

Il s'agit d'un mouvement périodique. La période  $T$  du mouvement est égale à la durée d'un tour :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

- $T$  en  $s$
- $\omega$  en  $rad.s^{-1}$

La fréquence  $f$  du mouvement est égale à l'inverse de la période.

$$f = \frac{1}{T}$$

- $f$  en  $Hz$
- $T$  en  $s$

On peut aussi écrire

$$\omega = 2\pi f$$

## 3. Mouvement de translation circulaire

**Exemple :** Mouvement d'une navette d'une grande roue dans le référentiel terrestre  
 Le vecteur  $\overrightarrow{AB}$  ne change pas de direction ou de sens.

Il ne faut pas confondre :

- mouvement de rotation
- mouvement de translation circulaire



# TP : Mouvement d'un solide

## Vecteur vitesse

### Objectifs

- Se familiariser avec les différents dispositifs expérimentaux
- Être capable de déterminer la vitesse instantanée d'un mobile
- Connaître la relation entre vitesse linéaire et vitesse angulaire
- Être capable d'identifier le type du mouvement d'un solide
- Savoir tracer un vecteur vitesse

### Matériel

- ordinateur et logiciel « CD MOVIE »
- table à coussin d'air et mobiles autoporteurs

## I. Étude avec le logiciel « CD MOVIE » de différents mouvements pour un solide

### A. Manipulation

Pour chacun des mouvements suivants (Image → Série d'images → Par nom de fichier), relever les positions successives de deux points du mobile au cours du temps. En déduire les caractéristiques du mouvement ainsi que sa nature.

- 1<sup>er</sup> mouvement : fichier TRAPMP.MOV
- 2<sup>e</sup> mouvement : fichier TOURDI.MOV
- 3<sup>e</sup> mouvement : fichier ESGLTR.MOV

## II. Étude du centre d'inertie

### A. Manipulations

Lancer le mobile et déclencher les impulsions (intervalle entre deux impulsions : 20 ms).

### B. Exploitation

- Que peut-on dire des trajectoires des points A et B ?
- Que peut-on dire du point B ?

### III. Vecteur vitesse

#### A. Manipulations

Incliner la table à coussin d'air d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'horizontale à l'aide du valet élévateur. Lancer le mobile de façon à obtenir un mouvement parabolique et déclencher les impulsions (intervalle entre deux impulsions : 40 ms).



#### B. Exploitation

Selectionner un point  $M$  proche du sommet de la trajectoire et déterminer la vitesse instantanée du mobile en ce point. Tracer le vecteur vitesse du mobile au point  $M$  (suggestion d'échelle 1 cm  $\iff$  0,2 m.s $^{-1}$ ). Recommencer l'opération pour un autre point :  $N$ .

### IV. Étude d'un mouvement circulaire uniforme

#### A. Manipulation

Fixer le mobile autoporteur à l'aide de l'axe au plot central. Repérer la position centrale  $O$ . Déclencher les impulsions. Lancer le mobile : celui-ci effectue un mouvement circulaire.

#### B. Exploitation

##### 1. Vitesse linéaire

Numéroter les points de l'enregistrement ( $A_0, A_1, \dots$ ). Déterminer la vitesse instantanée du mobile lors de son passage aux points  $A_1$  et  $A_{11}$ . En déduire la vitesse moyenne du mobile entre les points  $A_1$  et  $A_{11}$ . Tracer le vecteur vitesse du mobile aux points  $A_1$  et  $A_{11}$ .

##### 2. Vitesse angulaire

- Mesurer à l'aide d'un rapporteur la valeur  $\theta$  de l'angle  $(\overrightarrow{OA_1}, \overrightarrow{OA_{11}})$ .
- En déduire la valeur de la vitesse angulaire  $\omega$  du mobile.
- Mesurer le rayon  $R$  de la trajectoire.
- Calculer la quantité  $R \cdot \omega$ .
- Comparer  $R \cdot \omega$  à la vitesse moyenne du mobile et à la vitesse instantanée au point  $A_{11}$ . Conclure.

### V. Applications

- Exploiter chacune des trajectoires suivantes.
- Déterminer l'un des vecteurs vitesse du mobile.
- Dire quelle est la nature du mouvement enregistré.



FIG. 1 – Mouvement 1 ;  $\tau = 40 \text{ ms}$

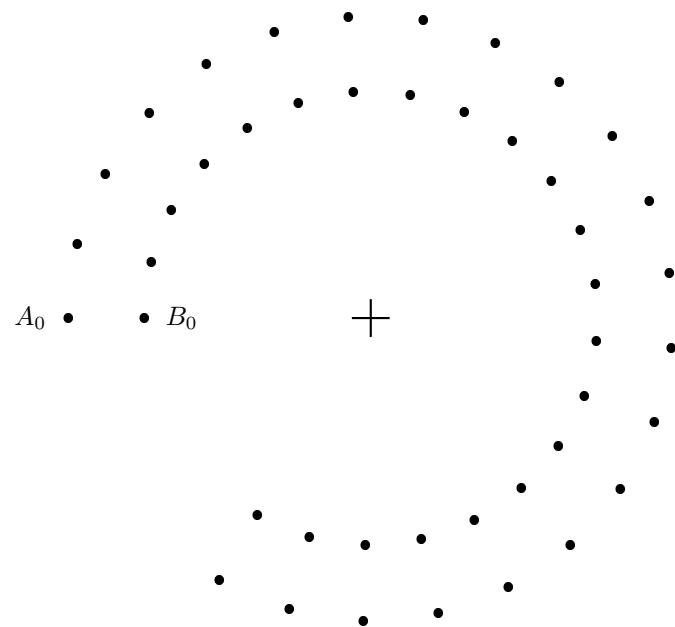
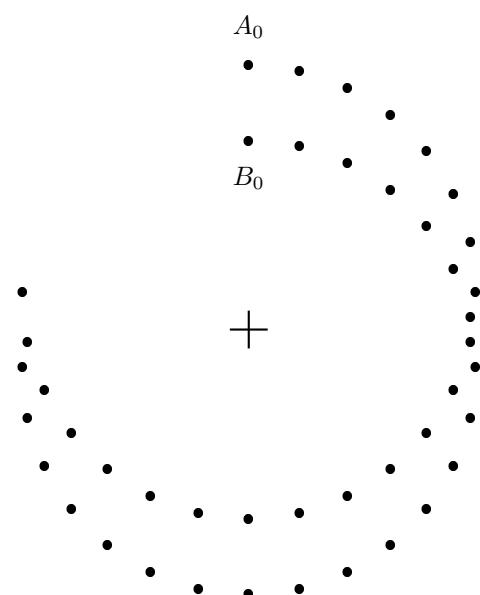


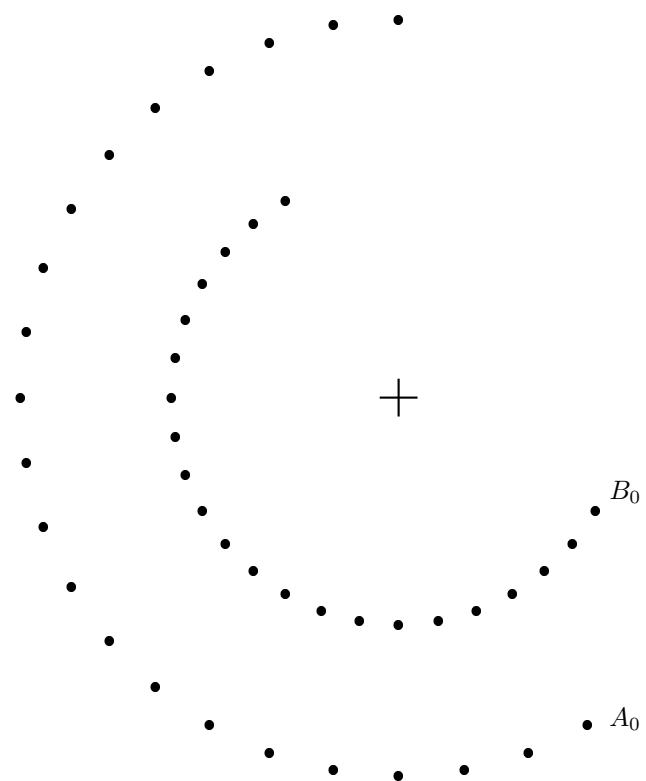
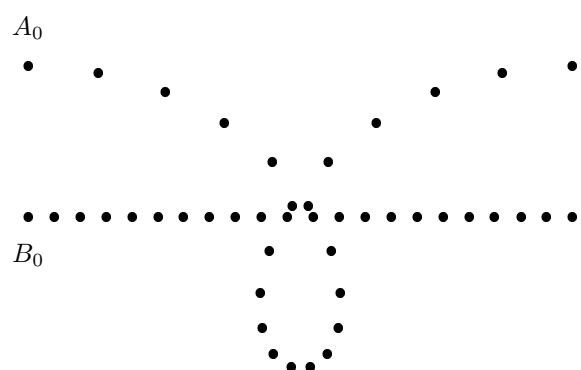
FIG. 2 – Mouvement 2 ;  $\tau = 40 \text{ ms}$



•  $M_0$

FIG. 3 – Mouvement 3 ;  $\tau = 60 \text{ ms}$

FIG. 4 – Mouvement 4 ;  $\tau = 40 \text{ ms}$ FIG. 5 – Mouvement 5 ;  $\tau = 40 \text{ ms}$

FIG. 6 – Mouvement 6 ;  $\tau = 40 \text{ ms}$ FIG. 7 – Mouvement 7 ;  $\tau = 40 \text{ ms}$



# TP : Mesures de vitesses angulaires

## Objectifs

- mettre en évidence une technique de mesure de vitesse angulaire utilisant l'électromagnétisme.

## Matériel

- oscilloscope et fiche BNC
- fils
- grande bobine
- moteur à courant continu avec un aimant fixé sur le rotor
- générateur de tension continu ajustable

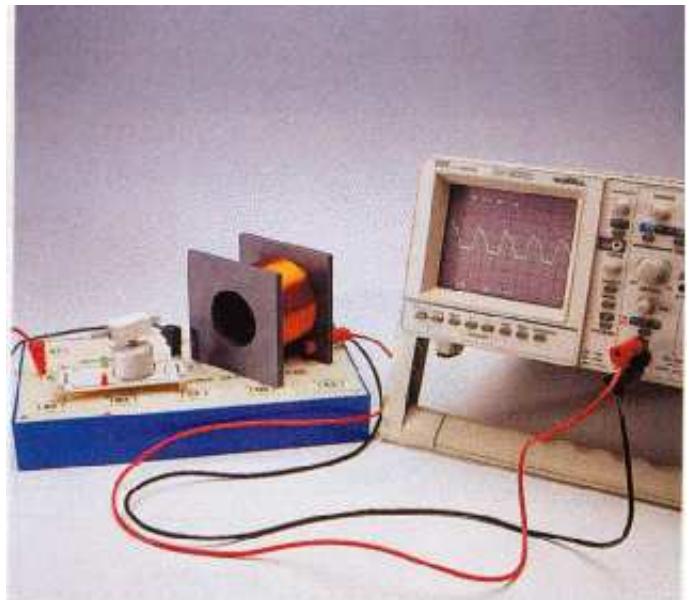


FIG. 1 – Dispositif expérimental

## I. Mesure à l'aide d'un aimant tournant

### A. Principe

Un aimant entraîné par un moteur à courant continu tourne à vitesse constante devant une bobine. Il se crée dans la bobine un courant induit. On observe à l'aide d'un oscilloscope les variations de la tension aux bornes de la bobine.

### B. Protocole

- Fixer sur l'axe du moteur un aimant à 2 pôles.
- Faire fonctionner le moteur afin que l'aimant tourne devant l'une des faces de la bobine conductrice reliée à une voie de l'oscilloscope.
- Régler l'oscilloscope pour observer convenablement l'oscillogramme de la tension aux bornes de la bobine.

## II. Question

1. Quelles sont les caractéristiques de la tension aux bornes de la bobine ?
2. Modifier la tension d'alimentation du moteur à courant continu. Comment évoluent les caractéristiques de la tension aux bornes de bobine ?
3. L'aimant comporte  $p = 1$  paire de pôles (2 pôles). Quelle est la relation entre la période de la tension mesurée sur l'oscilloscope et la vitesse de rotation du moteur exprimée en  $tr.s^{-1}$  ?
4. Mesurer la vitesse de rotation du moteur pour différentes tensions d'alimentation.
5. Rechercher le principe de fonctionnement d'une génératrice de bicyclette, improprement appelée dynamo.



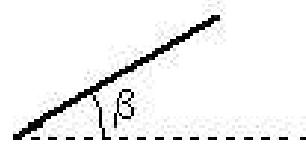
# TP : Nature d'un mouvement

La trajectoire donnée ci-contre a été enregistrée à l'aide d'un palet autoporteur lancé sur une table inclinée d'un angle  $\beta = 45^\circ$  par rapport à l'horizontale. L'étincelle électrique permettant le marquage de la position du centre d'inertie du mobile a lieu toutes les  $\tau = 200\text{ ms}$ .

1. Tracer la courbe passant par l'ensemble des points. Quelle est sa nature ? Numéroter les points de  $M_0$  à  $M_{13}$ .
2. En considérant que  $\widehat{M_i M_{i+1}} = M_i M_{i+1}$ , déterminer la vitesse instantanée  $V_1$  en  $\text{cm.s}^{-1}$ . Tracer le vecteur vitesse  $\vec{V}_1$ . On adoptera l'échelle  $1\text{ cm} \iff 3\text{ cm.s}^{-1}$ . Donner les 4 caractéristiques de ce vecteur.
3. De la même manière, tracer  $\vec{V}_3, \vec{V}_5, \vec{V}_7, \vec{V}_9, \vec{V}_{11}$ .
4. En projetant les différents vecteurs sur l'axe des abscisses et ordonnées, donner la valeur de leurs composantes  $V_x, V_y$  respectives.  
$$\vec{V}_1 = \begin{pmatrix} V_{1x} \\ V_{1y} \end{pmatrix} \quad ; \quad \vec{V}_3 = \begin{pmatrix} V_{3x} \\ V_{3y} \end{pmatrix} \quad ; \quad \vec{V}_5 = \begin{pmatrix} V_{5x} \\ V_{5y} \end{pmatrix} \quad ; \quad \dots$$
5. Comparer les valeurs de  $V_{1x}, V_{3x}, V_{5x}, V_{7x}, V_{9x}, V_{11x}$  puis celles de  $V_{1y}, V_{3y}, V_{5y}, V_{7y}, V_{9y}, V_{11y}$ . Donner la nature du mouvement du palet. Qu'en est-il réellement si l'on décompose le mouvement en sa projection sur les axes  $x$  et  $y$  ?
6. Rappeler le principe de l'inertie vu en seconde.
7. Que peut-on dire des forces qui s'exercent sur le palet ?
8. La masse du mobile utilisé est de  $150\text{ g}$ . Établir l'inventaire des forces en considérant que les frottements du palet sur la table sont nuls. Donner les caractéristiques de ces forces.
9. Sur un schéma, les représenter en ayant pris soin de choisir une échelle appropriée.
10. Se compensent-elles ? À quelle condition sur l'angle  $\beta$  se compenseraient-elles ? Dans ces conditions, quelle aurait été la trajectoire du mobile lancé avec la même vitesse initiale  $V_0$ .

**Inclinaison du plan**

$\beta$  (0 à 60°) =

**Masse du mobile**

$m$  (100 à 1 000 g) =

**Position initiale**

$x_0$  (m) =

$y_0$  (m) =

**Vitesse initiale**

$v_0$  =

$\alpha_0$  (- 180° à 180°) =

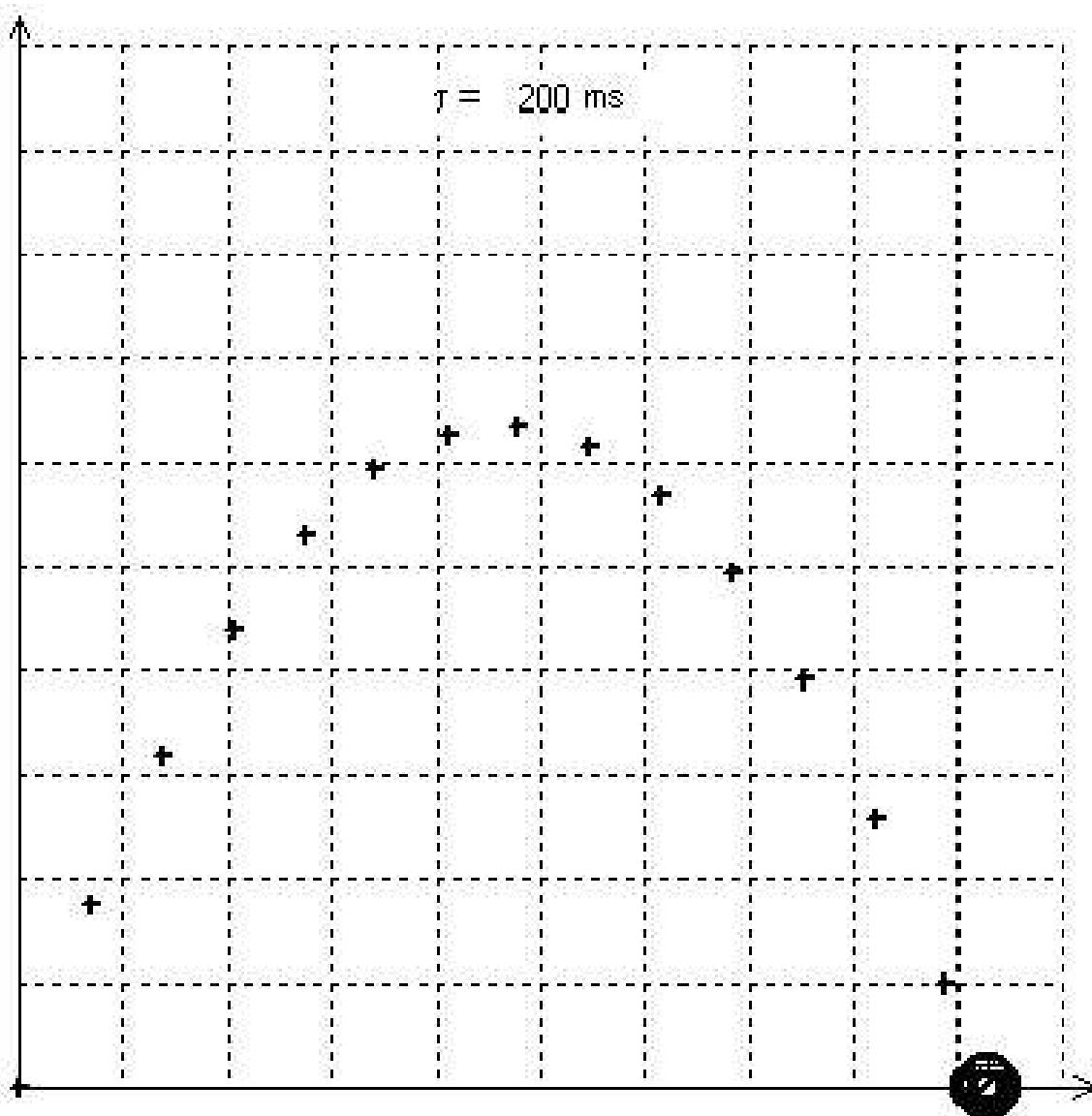
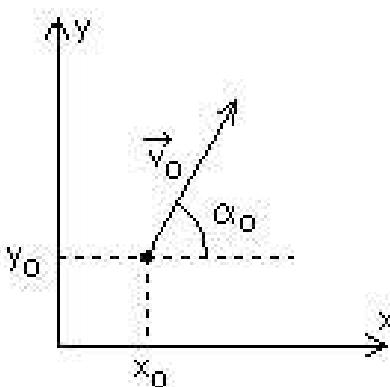


FIG. 1 – Simulation du lancer d'une balle de golf avec le logiciel Microméga 1<sup>ère</sup> S

# Forces



# Les forces

## I. Qu'est-ce qu'une force ?

### A. Définition

On appelle force, toute cause capable de modifier le mouvement d'un corps ou de le déformer.

### B. Caractéristiques et représentation d'une force

Une force possède les caractéristiques suivantes :

- direction
- sens
- norme (valeur ou intensité) notée  $F$  ou  $\|\vec{F}\|$  en newton  $N$
- point d'application

On la représente graphiquement après avoir choisi une échelle de représentation.

### C. Mesure de la valeur d'une force

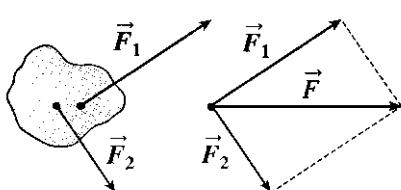
Un dynamomètre possède une partie déformable. La mesure de cette déformation proportionnelle à l'action subie permet de connaître l'intensité de la force (norme du vecteur force)  $\|\vec{F}\|$ .

### D. Composition et décomposition des forces

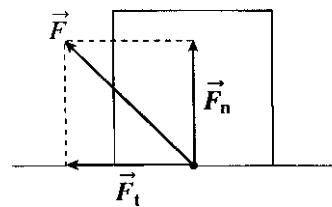
Le vecteur « somme des forces » est appelé **résultante** des forces appliquées au système.

Il se construit souvent à partir d'un point extérieur au système.

Un vecteur force peut être remplacé par ses composantes (souvent normale et tangentielle au plan du support).



Résultante  $\vec{F}$  des forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  :  
$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$



Composantes d'une force :  
$$\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_n$$

## II. Exemples de forces

### A. Force de gravitation et force de pesanteur

Le poids  $\vec{P}$  d'un corps de masse  $m$  est donné par la formule

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

Le poids  $\vec{P}$  a comme caractéristiques :

- **Direction** : verticale
- **Sens** : de haut en bas
- **Intensité** :  $m \cdot g$

- **Point d'application G**

Cette force s'exerce à distance et résulte des forces de pesanteur s'exerçant sur tous les grains de matière du corps.

## B. Poussée d'Archimède

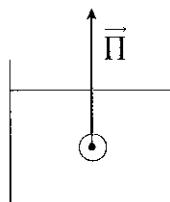
Un solide immergé dans un fluide homogène de masse volumique  $\rho$  est soumis à des actions mécaniques de la part de ce fluide. Ces actions mécaniques sont modélisées par une force  $\vec{\Pi}$  appelée **poussée d'Archimède**.

La poussée d'Archimède donnée par

$$\vec{\Pi} = -\rho \cdot V \cdot \vec{g}$$

Elle a comme caractéristiques :

- **Direction** : verticale
- **Sens** : de bas en haut
- **Intensité** : = au poids  $\rho \cdot V \cdot g$  du fluide déplacé ( $\rho$  en  $kg.m^{-3}$ ,  $V$  en  $m^3$ ,  $g$  en  $N.kg^{-1}$ )
- **Point d'application** : le centre de gravité du fluide déplacé appelé centre de poussée

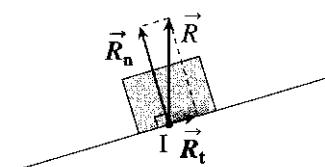


La poussée d'Archimède.

**Remarque** : Il ne faut pas confondre le **centre de poussée** à partir duquel s'exerce la poussée d'Archimède et le **centre d'inertie** à partir duquel s'exerce le poids.

## C. Réaction d'un support plan

Le support exerce sur le solide des actions mécaniques qui peuvent être modélisées par une force unique appelée réaction du support  $\vec{R}$  et appliquée en  $I$ . Cette force a 2 composantes : l'une normale au support (**composante normale**), l'autre dans le plan du support (**composante tangentielle**).



Réaction d'un support plan :  

$$\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{R}_t$$

$$R = R_n + R_t$$

$$R_t \leq \mu \cdot R_n$$

$\mu$  est le coefficient de frottement et dépend uniquement des surfaces en contact.

- s'il y a immobilité de l'objet par rapport au support  $R_t < \mu \cdot R_n$
- si le solide est en mouvement, on a  $R_t = \mu \cdot R_n$

## D. Tension d'un fil ou câble

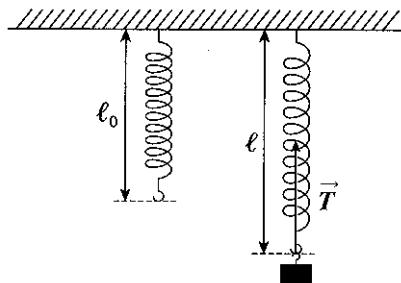
Le l'avion remorqueur exerce sur le planeur une force  $\vec{T}$  appelée tension du câble.  
 La direction de cette force est confondue avec le câble.

## E. Tension d'un ressort

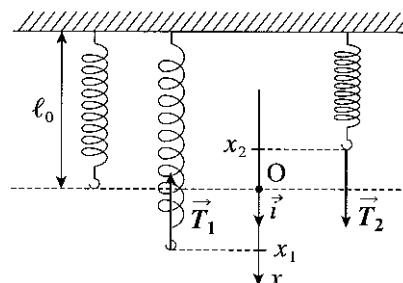
La force exercée par un ressort hélicoïdal à spires non jointives sur un objet qui lui est suspendu est appelée tension du ressort.

Elle a comme caractéristiques :

- **Direction** : celle du ressort
- **Sens** : opposé à la déformation du ressort
- **Intensité** :  $k \cdot |l - l_0|$ 
  - $k$  la constante de raideur en  $N.m^{-1}$
  - $x = l - l_0$  allongement ou raccourcissement en  $m$
- Point d'application : l'accroche du ressort et du corps.



Tension d'un ressort.



Relation vectorielle entre tension et déformation :

$$\vec{T}_1 = -kx_1 \vec{i} \text{ et } \vec{T}_2 = -kx_2 \vec{i}$$

## F. Force de frottement fluide

Un solide en mouvement au sein d'un fluide est soumis de la part de celui-ci à une force de frottement qui a la même direction que celle du vecteur vitesse mais de sens contraire. Elle est due à la viscosité du fluide et augmente lorsque la vitesse augmente.

## III. Équilibre et mise en mouvement d'un solide

On travaille dans le référentiel terrestre.

### Rappel : Le principe d'inertie

Un corps persévere dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si les forces qui s'exercent sur lui sont nuls ou se compensent.

## A. Equilibre d'un solide soumis à 2 forces

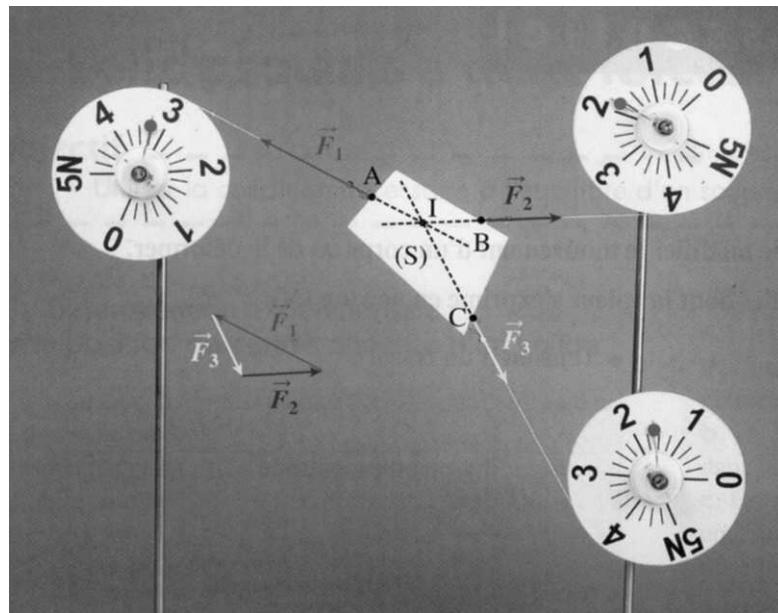
Lorsqu'un solide soumis à 2 forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  est en équilibre :

- Les forces ont la même droite d'action.
- Les forces ont la même intensité  $\|\vec{F}_1\| = \|\vec{F}_2\|$ .
- Les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  sont directement opposées.
- La somme vectorielle des 2 forces est nulle  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$ .

## B. Equilibre d'un solide soumis à 3 forces dont les directions ne sont pas parallèles

Lorsqu'un solide soumis à 3 forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ ,  $\vec{F}_3$  non parallèles est en équilibre :

- Les 3 forces sont concourantes
- Elles sont dans le même plan
- La somme vectorielle des 3 forces est nulle :  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$

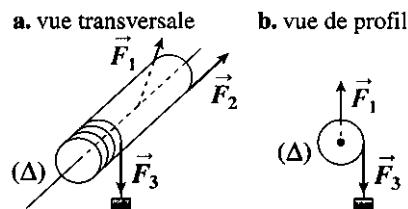


### C. Mise en mouvement d'un solide

Si les forces exercées à un solide ne respectent pas les conditions qui précèdent, elles seront suffisantes pour le mettre en mouvement.

### D. Cas particulier d'un solide mobile autour d'un axe fixe

- Une force comme  $\vec{F}_1$  dont la droite d'action coupe l'axe de rotation d'un solide ne peut le mettre en rotation.
- Une force comme  $\vec{F}_2$  dont la droite d'action est parallèle à l'axe de rotation d'un solide ne peut le mettre en rotation.
- Une force comme  $\vec{F}_3$  qui possède une composante perpendiculaire à son axe de rotation permet de le faire.



Solide mobile autour d'un axe fixe.

# TP : Étude du poids d'un corps

## Étude de la tension d'un ressort

## Étude de la poussée d'Archimède

### Objectifs

- faire le lien entre l'intensité du poids et la masse d'un corps
- relier la tension qu'exerce un ressort avec son allongement
- retrouver les caractéristiques de la poussée d'Archimède

### Matériel

- dynamomètre
- masselottes
- ressort
- éprouvette graduée remplie d'eau (puis d'huile)

## I. Étude du poids d'un corps

### A. Montage

Le poids, comme toutes les forces se mesure avec un dynamomètre. Il en existe en spirale et des longitudinaux.

Chaque masse au repos exerce une force sur le corps qui la retient (elle est en équilibre). Ce corps peut être un support, une ficelle... La force qu'exerce la masse est son **poids**.

### B. Mesures

Mesurer les poids de quelques masselottes et compléter le tableau suivant :

$m$ (kg)									
$P$ (N)									

### C. Exploitation, conclusion

1. Construire une courbe où figureront en abscisse la masse  $m$  (en  $kg$ ) et en ordonnée le poids  $P$  (en  $N$ ).
2. Exploiter les paramètres de la courbe (Est-ce une droite ? Passe-t-elle par l'origine ? Quel est son coefficient directeur ? Quelle est l'unité de ce coefficient directeur ?).
3. Conclure sur la relation liant l'intensité  $P$  du poids et la masse  $m$ .

## II. Étude de la tension d'un ressort

### A. Montage

On dispose d'un ressort à spires non jointives, d'une potence comportant une règle graduée verticale et d'une boîte de masses marquées à crochets.

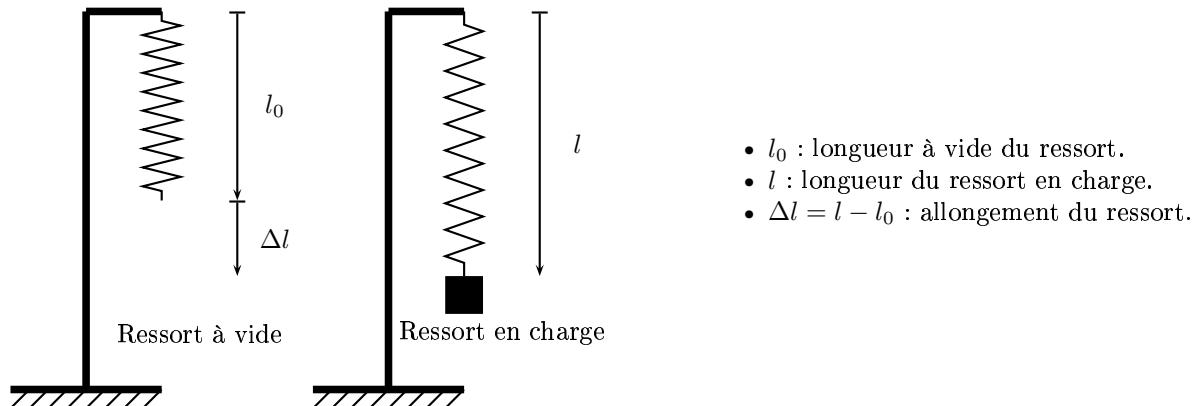


FIG. 1 – Ressort à vide et en charge

### B. Étude

Le système mécanique étudié est la masse  $m$ .

1. Faire le bilan des forces (extérieures) agissant sur la masse  $m$ .
2. Représenter les forces sur un schéma.
3. Énoncer la loi d'équilibre de la masse  $m$ . En déduire une relation liant l'intensité  $P$  du poids et la tension  $T$  du ressort.

### C. Mesures

1. Mesurer la longueur  $l_0$  du ressort à vide.
2. Poser différentes masses  $m$  à l'extrémité du ressort, mesurer la longueur du ressort en charge, déduire l'allongement  $\Delta l = l - l_0$  de celui-ci.
3. Noter les résultats expérimentaux dans le tableau suivant :

$m$ (kg)								
$P$ (N)								
$T$ (N)								
$\Delta l$ (m)								

4. Tracer la courbe  $T = f(\Delta l)$ .
5. Exploiter les paramètres de la courbe (Est-ce une droite ? Passe-t-elle par l'origine ? Quel est son coefficient directeur ? Quelle est l'unité de ce coefficient directeur ?).
6. En déduire la relation (vectorielle) liant la tension  $\vec{T}$  du ressort avec l'allongement de celui-ci.

### III. Étude de la poussée d'Archimède

#### A. Montage

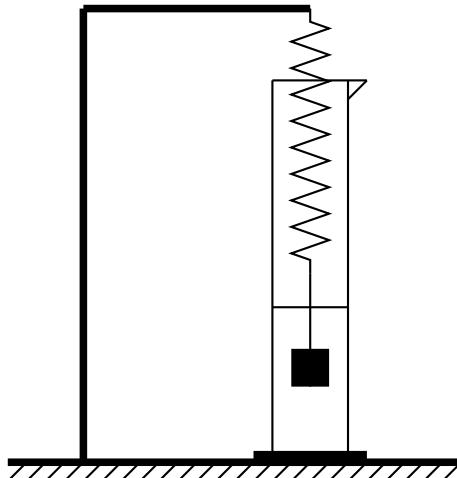


FIG. 2 – Vérification expérimentale de la poussée d'Archimède

1. Suspendre la masse marquée  $m = \dots \dots \dots$  au **même** ressort que celui étudié précédemment.
2. Noter le volume d'eau dans l'éprouvette à votre disposition.
3. Introduire la masse marquée dans l'éprouvette.
4. Réaliser les mesures nécessaires pour déterminer la valeur de la force de tension du ressort.
5. Noter le nouveau volume dans l'éprouvette.

#### B. Mesures

1. Faire le bilan des interactions subies par la masse marquée. Nommer et représenter les forces correspondantes dans chaque cas.
2. Quelle est la condition de repos de la masse marquée dans l'éprouvette.
3. Réaliser les mesures nécessaires pour déterminer la valeur de la force de tension du ressort.
4. Noter le nouveau volume dans l'éprouvette.

#### C. Exploitation des mesures

1. Faire le bilan des interactions subies par la masse marquée. Nommer et représenter les forces correspondantes dans chaque cas.
2. Quelle est la condition de repos de la masse marquée dans le référentiel terrestre ?
3. En déduire l'intensité  $\Pi_A$  de la poussée d'Archimède  $\overrightarrow{\Pi_A}$ , c'est à dire l'action de l'eau sur la masse.
4. Comparer cette valeur au poids du volume d'eau déplacé.

#### D. Généralisation et énoncé du théorème d'Archimède

1. Si le temps le permet, recommencer toute la démarche en remplissant l'éprouvette graduée avec de l'huile à la place de l'eau.
2. Retrouver l'énoncé du théorème d'Archimède sachant qu'il donne les caractéristiques de la force qu'exerce un fluide sur un objet immergé (utiliser la masse volumique du fluide pour donner l'expression de cette force)

### III. Étude de la poussée d'Archimède

#### A. Montage

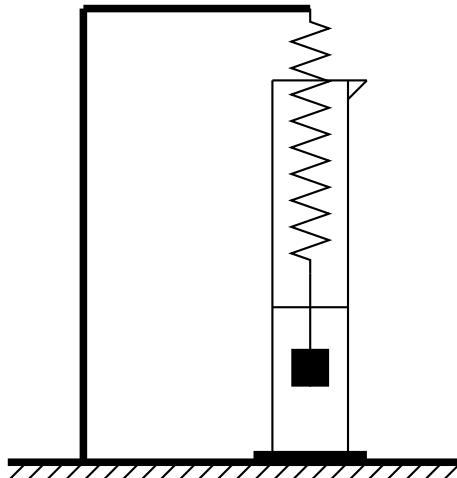


FIG. 2 – Vérification expérimentale de la poussée d'Archimède

1. Suspendre la masse marquée  $m = \dots \dots \dots$  au **même** ressort que celui étudié précédemment.
2. Noter le volume d'eau dans l'éprouvette à votre disposition.
3. Introduire la masse marquée dans l'éprouvette.
4. Réaliser les mesures nécessaires pour déterminer la valeur de la force de tension du ressort.
5. Noter le nouveau volume dans l'éprouvette.

#### B. Mesures

1. Faire le bilan des interactions subies par la masse marquée. Nommer et représenter les forces correspondantes dans chaque cas.
2. Quelle est la condition de repos de la masse marquée dans l'éprouvette.
3. Réaliser les mesures nécessaires pour déterminer la valeur de la force de tension du ressort.
4. Noter le nouveau volume dans l'éprouvette.

#### C. Exploitation des mesures

1. Faire le bilan des interactions subies par la masse marquée. Nommer et représenter les forces correspondantes dans chaque cas.
2. Quelle est la condition de repos de la masse marquée dans le référentiel terrestre ?
3. En déduire l'intensité  $\Pi_A$  de la poussée d'Archimède  $\overrightarrow{\Pi_A}$ , c'est à dire l'action de l'eau sur la masse.
4. Comparer cette valeur au poids du volume d'eau déplacé.

#### D. Généralisation et énoncé du théorème d'Archimède

1. Si le temps le permet, recommencer toute la démarche en remplissant l'éprouvette graduée avec de l'huile à la place de l'eau.
2. Retrouver l'énoncé du théorème d'Archimède sachant qu'il donne les caractéristiques de la force qu'exerce un fluide sur un objet immergé (utiliser la masse volumique du fluide pour donner l'expression de cette force)

# TP : Étude de l'équilibre d'un solide

## Objectifs

- Étudier l'équilibre d'un solide soumis à deux ou trois forces
- Énoncer les conditions d'équilibre nécessaires.

## Matériel

- plaque en carton ou en polystyrène percée
- dynamomètres
- une feuille de papier format A3
- rapporteur et règle graduée

## Données

- $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$

## I. Étude de l'équilibre d'un solide soumis à deux forces

### A. Protocole expérimental

Un solide (plaque en carton, plaque de polystyrène) **très léger** est soumis à deux forces (tensions de fils) dont les intensités sont mesurées à l'aide de dynamomètres.

1. Réaliser un équilibre comme ci-contre.
2. Schématiser le montage en ne représentant que le solide et les forces qui s'appliquent sur ce solide. On se fixera une échelle pour représenter les forces et on n'oubliera pas de l'indiquer sur sa copie.

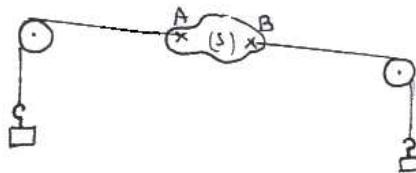


FIG. 1 – Solide soumis à deux forces

### B. Résultats et exploitations des mesures

1. À l'équilibre, que pouvez-vous dire :
  - (a) de la direction des deux forces appliquées ?
  - (b) de leurs lignes d'action ?
  - (c) de leurs sens ?
  - (d) de leurs intensités ?
2. Que se passe-t'il pour le solide ( $S$ ) si on augmente un peu l'intensité d'une des deux forces ?
3. Énoncer finalement la (ou les conditions) nécessaires d'équilibre d'un solide soumis à deux forces ?

## II. Étude de l'équilibre d'un solide soumis à trois forces

### A. Protocole expérimental

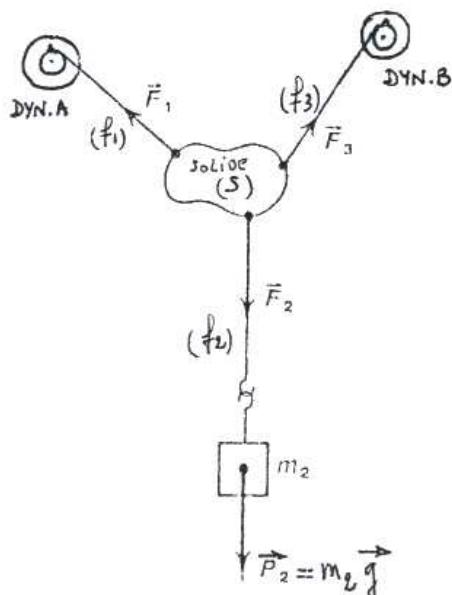


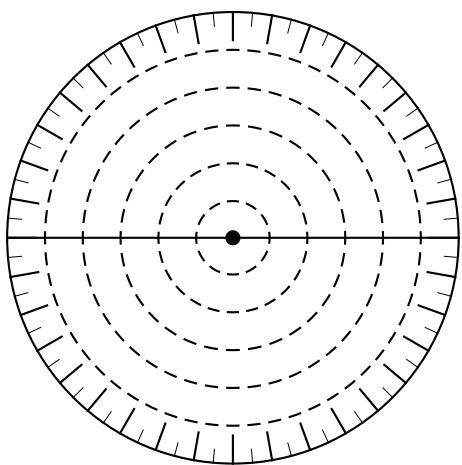
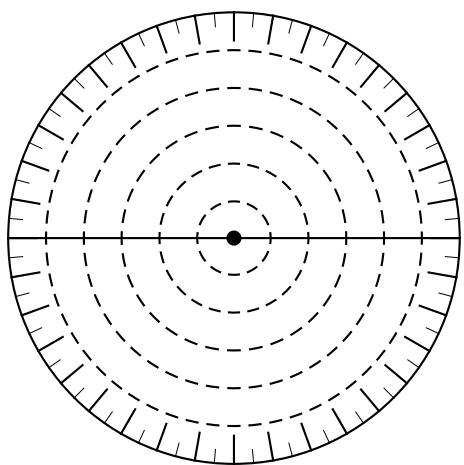
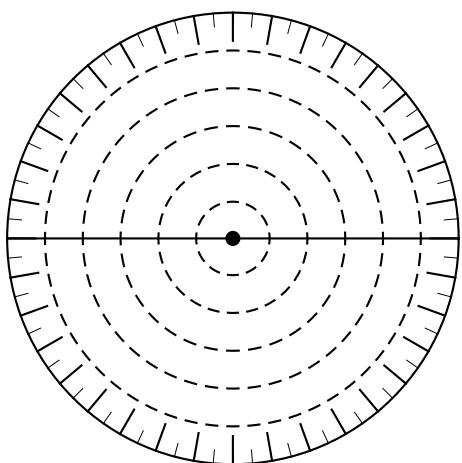
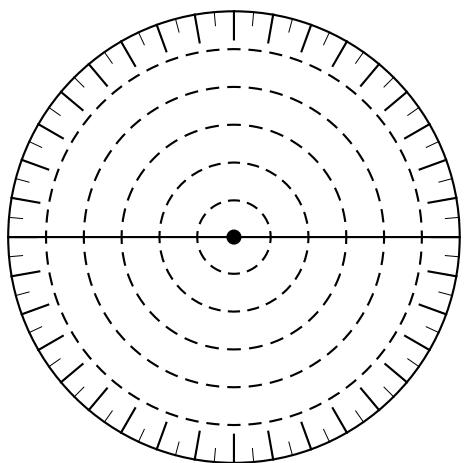
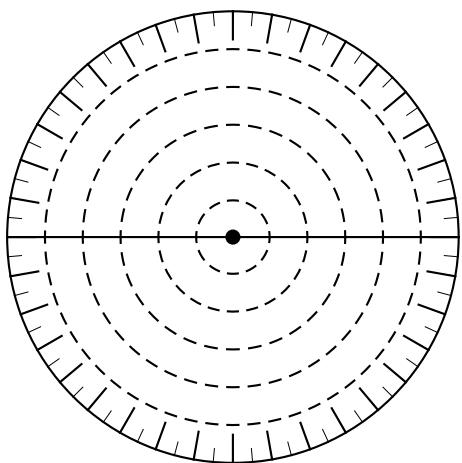
FIG. 2 – Solide soumis à trois forces

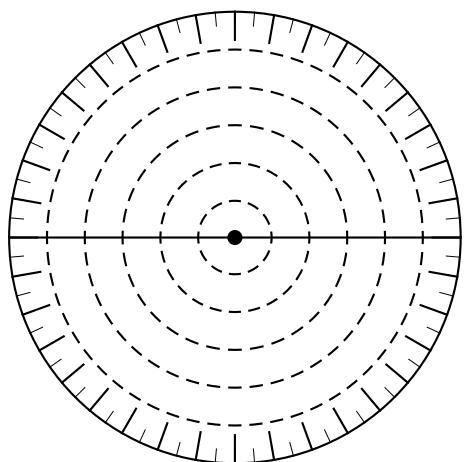
1. Réaliser un équilibre comme ci-contre.
2. L'équilibre est-il toujours identique si l'on modifie l'une des forces appliquées, ou est-il lui aussi modifié (directions des forces, intensités) ?
3. L'équilibre étant établi, déplacer légèrement le solide et le lâcher. Conclure.
4. Observer latéralement le système à l'équilibre. Que peut-on dire des directions des trois fils ? Conclure.
5. Relever la valeur de la masse  $m_2$ .  
 $m_2 = \dots \text{ g}$ . Relever la valeur des intensités des forces  $F_1$  et  $F_3$ .  
 $F_1 = \dots \text{ N}$   
 $F_3 = \dots \text{ N}$ .  
 Calculer  $F_2 = P_2 = m_2 \cdot g = \dots \text{ N}$
6. Relever la direction des 3 fils (2 points par fil) sur la feuille A3. Oter la feuille du tableau.

### B. Résultats et exploitations des mesures

1. Prolonger les droites données par la direction des fils 1, 2 et 3. Que remarquez-vous ?
2. On note  $I$  le point d'intersection de ces droites. Reporter un point noté  $I'$  en dehors du tracé précédent (par exemple en bas et à gauche). À partir de ce point  $I'$ , tracer les directions précédentes (en utilisant une règle et une équerre pour réaliser la translation) et représenter (en précisant l'échelle choisie) les vecteurs  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ .
3. Construire la somme  $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_3$ . Est-elle égale et directement opposée (même droite d'action) à  $\vec{F}_2$  ? Que vaut donc  $\vec{S} = \vec{R} + \vec{F}_2 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$  ?
4. Reporter un autre point  $I''$  en bas et à droite du tracé issu de l'expérience. Montrer que  $\vec{S} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$  équivaut à  $\vec{0}$ , mais cette fois-ci par la méthode du polygone ?
5. **Conclusion :** Énoncer les deux conditions nécessaires à l'équilibre d'un solide soumis à trois forces.

# Divers rapporteurs pour la Physique





# Lois de Newton



# Les lois de Newton

## I. Première loi de Newton : principe d'inertie

### A. Approche de la première loi de Newton

ARISTOTE (384 - 322 av JC), puis GALILÉE (1564 - 1642) et NEWTON (1642 - 1727) ont tour à tour travaillé sur les forces et le mouvement. La première loi de Newton, telle qu'il l'a exprimée ressemblait à ceci :

Tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si aucune force ne s'exerce sur lui ou si les forces qui s'exercent sur lui se compensent.

### B. Référentiels galiléens

On appelle « *référentiel galiléen* » un référentiel dans lequel la première loi de Newton s'applique.

Des expériences réalisées dans le référentiel terrestre ont permis d'établir progressivement le principe d'inertie.

Un référentiel terrestre peut donc être considéré comme un référentiel galiléen.

*Remarque :*

- Une balle lâchée dans une salle de classe tombe selon la verticale.
- Une balle lâchée dans un train se déplaçant en ligne droite à V constante tombe selon la verticale dans le référentiel lié au train.
- Si le train freine brusquement pendant le mouvement de la balle, elle ne suit plus une verticale liée au train.

Un référentiel animé d'un mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui-même un référentiel galiléen.

### C. Utilisation de la première loi de Newton

**Principe d'inertie (énoncé moderne)** : dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse  $\vec{v}_G$  du centre d'inertie  $G$  d'un solide ne varie pas, la somme des forces extérieures  $F = \Sigma F_{ext}$  qui s'exercent sur le solide est nulle et réciproquement.

$$\text{Inertie} \iff \Sigma F_{ext} = 0$$

Si le centre d'inertie d'un solide est animé d'un mouvement rectiligne et uniforme ou est immobile : Utilisation de la première loi de Newton.

Si le solide n'est soumis à aucune force ou est soumis à des forces connues qui se compensent. Utilisation du principe de l'inertie.

Un solide est dit mécaniquement **isolé** lorsqu'il n'est soumis à aucune force extérieure.

Un solide est dit **pseudo-isolé** s'il est soumis à des forces qui se compensent.

## II. Une approche de la deuxième loi de Newton

### A. Exemple 1 : chute d'une bille dans le référentiel terrestre

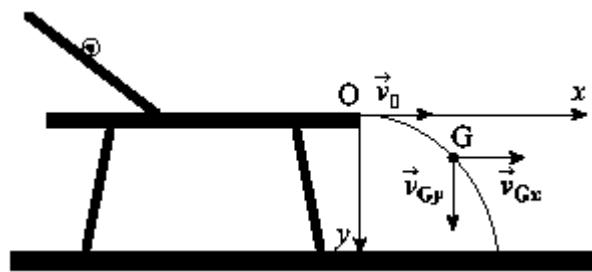


FIG. 1 – Le dispositif de Gallilée

On utilise un dispositif expérimental permettant de réaliser l'acquisition du temps  $t$  ( $s$ ) et des positions  $x$  et  $y$  (en  $cm$ ).

temps $t$ ( $s$ )											
$x$ ( $cm$ )											
$y$ ( $cm$ )											
$v_x$ ( $cm$ )											
$v_y$ ( $cm$ )											
$\Delta v_x$ ( $cm$ )											
$\Delta v_y$ ( $cm$ )											

On constate :

- $v_x = \text{constante}$
- $v_y$  croît

La variation de la vitesse vectorielle  $\overrightarrow{\Delta V}$  vaut  $\overrightarrow{\Delta V_y}$ .

Dans un référentiel terrestre, pour un solide soumis uniquement à son poids, la direction et le sens de la variation du vecteur vitesse  $\overrightarrow{\Delta V}$  sont ceux du vecteur poids  $\overrightarrow{P}$ .

### B. Exemple 2 : mouvement de la Lune dans le référentiel géocentrique

Soient en 2 points  $L'$  et  $L''$ , placés à égale distance de  $L$  sur la trajectoire de la Lune.

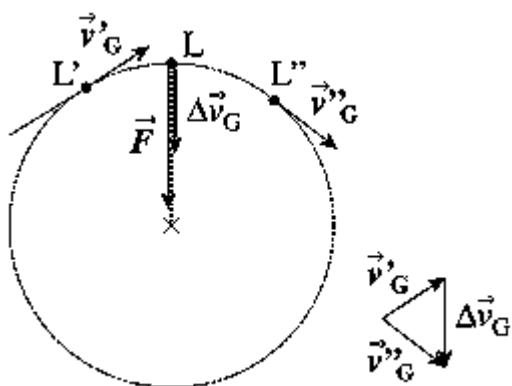


FIG. 2 – Variation du vecteur vitesse et force appliquée

On note les vecteurs vitesse du centre d'inertie de notre satellite :  $v'_G$  et  $v''_G$ . Ces 2 vecteurs ont même norme mais ils n'ont pas la même direction.

Construisons graphiquement le vecteur  $\overrightarrow{\Delta v_G}$ .

**Remarque :**

$$\overrightarrow{\Delta v_G} = \overrightarrow{v''_G} - \overrightarrow{v'_G}$$

Il faut ajouter  $\overrightarrow{\Delta v_G}$  à  $\overrightarrow{v'_G}$  pour obtenir  $\overrightarrow{v''_G}$ .

On constate que l'accroissement  $\overrightarrow{\Delta v_G}$  du vecteur vitesse pour passer de  $L'$  à  $L''$  a même direction et même sens que la force de gravitation en L.

Dans le référentiel géocentrique, la variation  $\overrightarrow{\Delta v_G}$  du vecteur vitesse  $\overrightarrow{v_G}$  du centre d'inertie de la Lune entre 2 instants très proches a même direction et même sens que la force qui s'exerce sur la Lune.

## C. Deuxième loi de Newton

Généralisons la conclusion des 2 exemples précédents :

Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse  $\overrightarrow{v_G}$  du centre d'inertie d'un solide varie, la somme  $\overrightarrow{F} = \sum \overrightarrow{F_{ext}}$  des forces extérieures qui s'exercent sur le solide n'est pas nulle. La direction et le sens de  $\overrightarrow{F}$  sont ceux de  $\overrightarrow{\Delta v_G}$  la variation de  $\overrightarrow{v_G}$  entre 2 instants proches.

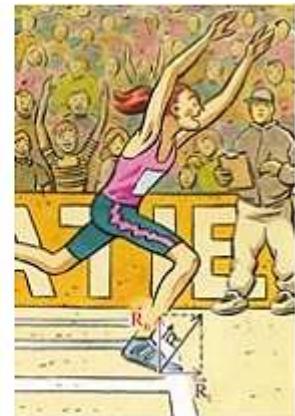
## III. Troisième loi de Newton

### Énoncé de la troisième loi de Newton (principe des actions réciproques)

$A$  et  $B$  étant 2 corps, soit  $F_{B/A}$  la force exercée par  $B$  sur  $A$  et  $F_{A/B}$  la force exercée par  $A$  sur  $B$ . Quel que soit l'état de mvt de  $A$  par rapport à  $B$ , on a toujours l'égalité vectorielle

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$$

Ces deux forces ont la même droite d'action et sont dites directement opposées.



$$\overrightarrow{R} = -\overrightarrow{F_{pied/sol}}$$

$$\overrightarrow{R} = \overrightarrow{R_n} + \overrightarrow{R_t}$$

**Remarque :** Une force de frottement ne s'oppose pas toujours au mouvement. En l'absence de frottements, il est impossible d'avancer en marchant.



# TP : Vérification expérimentale de la deuxième loi de Newton avec un mobile autoporteur

## Objectifs

- Vérifier la deuxième loi de Newton

## Matériel

- logiciel Microméga 1ère S

## I. Protocole 1

### A. Réalisation

1. On étudie le mouvement d'un palet autoporteur sur un plan incliné, lancé initialement avec une vitesse non nulle. Dans tout le TP, les frottements seront négligés. Citer le référentiel d'étude. Faire le bilan des forces appliquées au palet une fois qu'il a été lancé. Compléter le schéma ci-dessous avec les vecteurs forces appropriés.
2. Lancer le logiciel Microméga 1ère S. Puis simulateurs. Puis mobile autoporteur, mouvement sans frottement sur un plan incliné.
3. Onglet affichage : cocher « vue de face », « marquer la trajectoire », « afficher le repère », « afficher la grille ».
4. Onglet vecteurs : cocher « afficher le vecteur vitesse ».
5. Onglet chronophotographie : cocher « conserver les vecteurs représentés », « marquer uniquement les positions du centre d'inertie ». Puis activer la chronophotographie.
6. Imprimer autant de fois que d'élèves dans le groupe (« animation vue de face »). Numéroter les points apparus de 0 à 9.

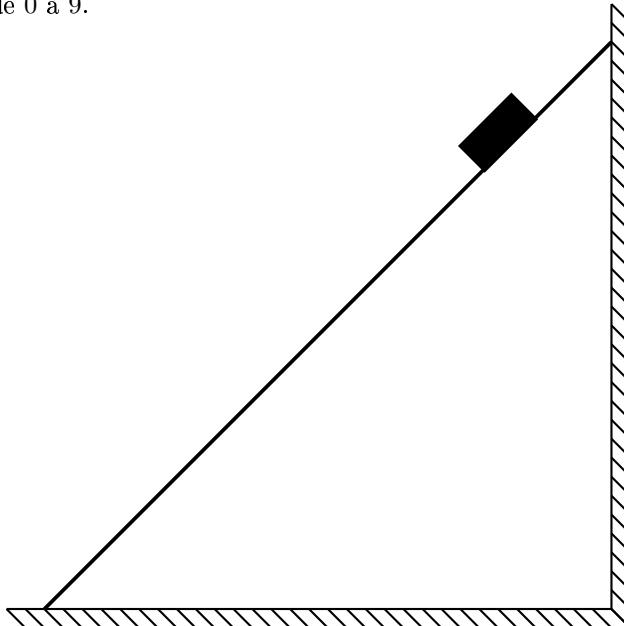


FIG. 1 – Un mobile autoporteur sur un plan incliné

### B. Exploitation

1. Construire  $\overrightarrow{\Delta V_1} = \overrightarrow{V(t_2)} - \overrightarrow{V(t_0)}$  puis  $\overrightarrow{\Delta V_6} = \overrightarrow{V(t_7)} - \overrightarrow{V(t_5)}$  à l'extérieur de la figure.
2. Reporter  $\overrightarrow{\Delta V_1}$  au point 1 puis  $\overrightarrow{\Delta V_6}$  au point 6.

## II. Protocole 2

### A. Réalisation

1. Cliquer sur effacer en haut à gauche.
2. Onglet affichage. Cocher « vue de face », « marquer la trajectoire », « afficher le repère », « afficher la grille ».
3. Onglet vecteurs. Cocher « affichage variation du vecteur vitesse », « vecteurs forces ». Mais *décocher* « affichage de la construction ».
4. Onglet chronophotographie : cocher « conserver les vecteurs représentés », « marquer uniquement les positions du centre d'inertie ». Puis activer la chronophotographie.
5. Imprimer autant de fois que d'élèves dans le groupe (« animation vue de face »). Numéroter les points apparus de 0 à 9.

### B. Exploitation

1. Mettre en relation les différents résultats obtenus depuis le début du TP.
2. Conclure.

## III. Protocole 3

### A. Réalisation

1. Cliquer sur effacer en haut à gauche.
2. Onglet paramètres :  $\beta = 20^\circ$ ,  $V_0 = 0 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $X_0 = 5 \text{ m}$ ,  $Y_0 = 10 \text{ m}$ . Le palet est lâché sans vitesse initiale.
3. Onglet affichage : Cocher "vue de face", "marquer la trajectoire", "afficher le repère", "afficher la grille".
4. Onglet vecteurs. Cocher "affichage vecteur vitesse", Choisir comme échelle de représentation : mini + 6 clics.
5. Onglet chromatographie. Cocher "conserver les vecteurs", "marquer les positions du centre d'inertie". Activer chronophotographie.
6. Imprimer autant de fois que d'élèves dans le groupe.

### B. Exploitation

1. Rappeler le bilan des forces appliquées au palet.
2. Construire de façon externe à la figure  $\overrightarrow{\Delta V_5} = \overrightarrow{V(t_6)} - \overrightarrow{V(t_4)}$ .
3. Conclure.

## IV. Conclusion générale

Établir une conclusion générale en relation avec le cours sur les lois de Newton.

# TP : Vérification expérimentale de la deuxième loi de Newton dans le cas d'une trajectoire parabolique

## Objectifs

- Vérifier que le vecteur  $\overrightarrow{\Delta V}$  est colinéaire et de même sens que la force appliquée à un solide.

## Matériel

- caméra vidéo
- téléviseur
- magnétoscope
- papier calque

## I. Protocole

1. À l'aide d'une caméra vidéo, enregistrer le mouvement d'une balle de golf lancée dans un plan frontal, c'est à dire dans un plan perpendiculaire à l'axe de visée de la caméra.
2. À l'aide d'un magnétoscope, faire défiler l'enregistrement image par image et pointer le centre de la balle sur le transparent collé sur l'écran du téléviseur.

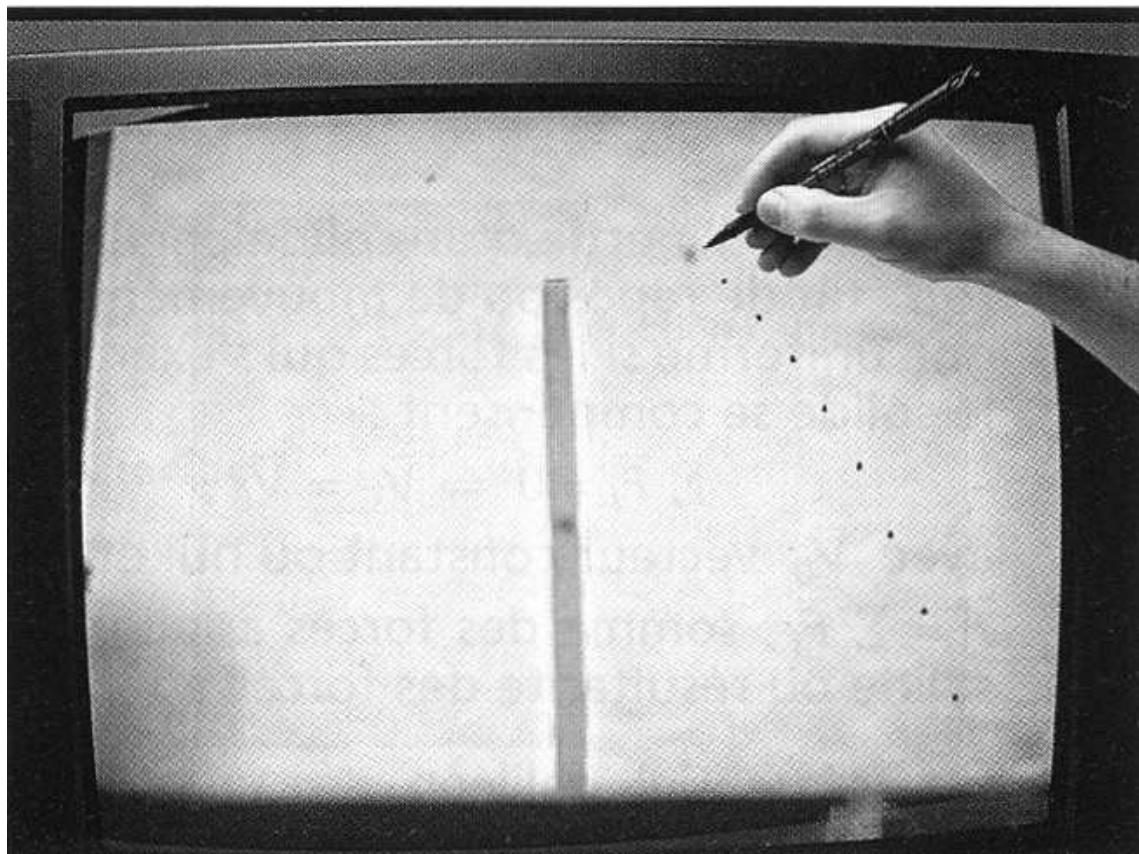


FIG. 1 – Repérage sur l'écran et tracé sur papier calque des positions enregistrées de la balle de golf

## II. Exploitation de l'enregistrement

À partir du transparent, déterminer :

- la vitesse instantanée en chacune des positions enregistrées
- le vecteur  $\vec{\Delta V} = \vec{V}_j - \vec{V}_i$ , correspondant à deux positions consécutives  $i$  et  $j$  de la balle.

1. Énoncer la deuxième loi de Newton.
2. Effectuer l'inventaire des forces agissant sur la balle de golf.
3. Indiquer la conséquence de la deuxième loi de Newton et comparer avec les faits expérimentaux observés.

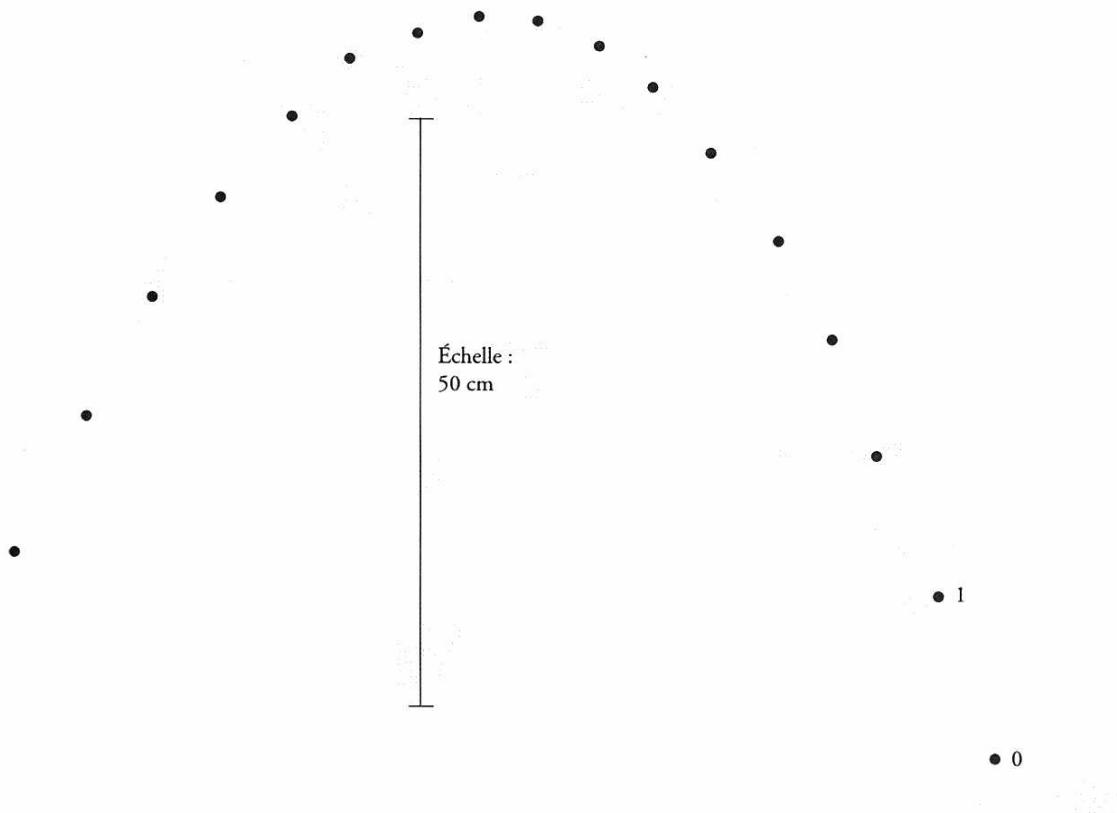


FIG. 2 – Enregistrement du mouvement d'une balle de golf

## Travail d'une force



# Travail d'une force

## I. Travail d'une force

### A. Définition

Lors du déplacement d'un solide, les éventuelles forces qui lui sont appliquées travaillent. Le travail d'une force est une nouvelle grandeur physique. Il sera d'autant plus important que la valeur de la force sera grande et que le déplacement de l'objet se fera sur une longue distance. Le travail  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$  d'une force constante  $\vec{F}$ , lors d'un déplacement rectiligne de son point d'application de  $A$  vers  $B$ , est égal au produit scalaire de la force  $\vec{F}$  par le vecteur déplacement  $\vec{AB}$ .

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cdot \cos(\vec{F}, \vec{AB})$$

- $\alpha = (\vec{F}, \vec{AB})$  est l'angle entre les vecteurs  $\vec{F}$  et  $\vec{AB}$
- $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$  en joule J
- $F$  en newton N
- $AB$  en mètre m

**Remarque :** le joule est le travail d'une force de 1 N dont le point d'application se déplace de 1 m selon la direction de la force.

Une force ne travaille pas  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = 0$  si son point d'application ne se déplace pas ou si sa direction est perpendiculaire à celle du déplacement ( $\cos\alpha = 0$ ).

### B. Travail moteur et travail résistant

$F \geq 0$ ,  $AB \geq 0$  et  $-1 \leq \cos(\alpha) \leq 1$ . Le travail est donc une **grandeur algébrique**.

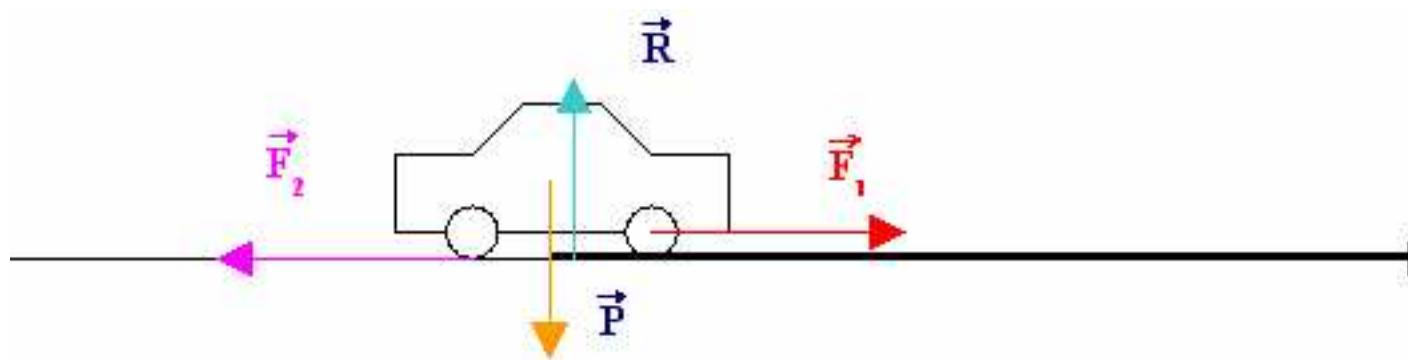


FIG. 1 – Automobile soumise à 4 forces

- Si  $\alpha < 90^\circ$  la force  $\vec{F}$  favorise le déplacement  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) > 0$ . Le travail de la force est dit **moteur**.
- Si  $\alpha > 90^\circ$  la force  $\vec{F}$  favorise le déplacement  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) < 0$ . Le travail de la force est dit **résistant**.

## II. Travail du poids d'un corps

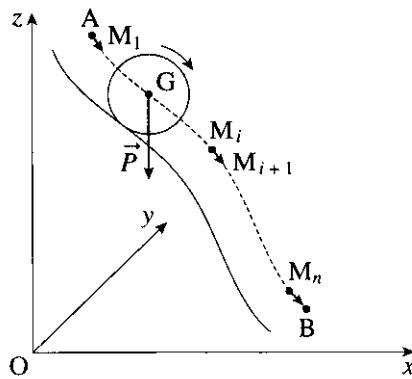


FIG. 2 – Balle roulant le long d'une pente

Déterminons le travail du poids de la balle lors de son déplacement le long d'une trajectoire quelconque conduisant d'un point  $A$  d'une altitude  $z_A$  à un point  $B$  d'une altitude  $z_B$ .

On décompose la trajectoire curviligne  $AB$  en une infinité de segments rectilignes  $AM_1, M_1M_2, M_2M_3, M_iM_{i+1}, M_nB$ .

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AM_1} + \vec{P} \cdot \overrightarrow{M_1M_2} + \cdots + \vec{P} \cdot \overrightarrow{M_iM_{i+1}} + \cdots + \vec{P} \cdot \overrightarrow{M_nB}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot (\overrightarrow{AM_1} + \overrightarrow{M_1M_2} + \overrightarrow{M_iM_{i+1}} + \overrightarrow{M_nB})$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB}$$

$$\begin{aligned} & \vec{P}(O; O; -m \cdot g) \\ & \overrightarrow{AB}(x_B - x_A; y_B - y_A; z_B - z_A) \end{aligned}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_B - z_A)$$

Le travail du poids d'un corps est indépendant du chemin suivi par son centre d'inertie  $G$  pour aller d'un point de départ  $A$  vers un point d'arrivée  $B$ . Il ne dépend que de leur altitude  $z_A$  et  $z_B$ .

## III. Travail d'une force *constante*

Pour une force constante quelconque, généralisons le cas précédent :

Le travail  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$  d'une force constante  $\vec{F}$  lors d'un déplacement quelconque de son point d'application de  $A$  vers  $B$  est égal au produit scalaire de la force  $\vec{F}$  par le vecteur déplacement  $\overrightarrow{AB}$  :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$$

Le travail d'une force constante est indépendant du chemin suivi, il ne dépend que du point de départ et de celui d'arrivée.

## IV. Travail des forces dans le cas d'un solide en translation

Si un solide est en translation, chacun de ses points subi d'un déplacement identique.

$$\overrightarrow{A_1B_1} = \overrightarrow{A_2B_2} = \cdots = \overrightarrow{A_nB_n}$$

La somme des travaux des forces s'écrit :

$$\vec{F}_1 \cdot \overrightarrow{A_1B_1} + \vec{F}_2 \cdot \overrightarrow{A_2B_2} + \cdots + \vec{F}_n \cdot \overrightarrow{A_nB_n} = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n) \cdot \overrightarrow{AB} = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$$

Pour un solide en translation, la somme des travaux des forces appliquées au solide est égale au travail de la somme des forces (résultante).

## V. Puissance d'une force

### A. Définition

La puissance moyenne  $P_{moyenne}$  d'une force  $\vec{F}$  est le quotient de travail  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$  par la durée  $\Delta t$  mise à l'effectuer :

$$P_{moyenne} = \frac{W_{A \rightarrow B}(\vec{F})}{\Delta t}$$

- $P_{moyenne}$  en watt W
- $W(F)$  en joule J
- $\Delta t$  en seconde s.

Le watt est la puissance d'une force qui exerce un travail de 1 J pendant une durée de 1 s.

**Remarque :** 1 ch(cheval) = 736 W

### B. Cas particulier d'un solide en translation rectiligne uniforme

Dans ce cas particulier la vitesse est constante et de valeur  $\vec{v} = \overrightarrow{cste}$ .

$$P_{moyenne} = \frac{W_{A \rightarrow B}(\vec{F})}{\Delta t} = \frac{\vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}}{\Delta t}$$

Soit un solide en translation rectiligne uniforme, on a :

$$\overrightarrow{AB} = \vec{v} \cdot \Delta t$$

La puissance moyenne d'une force constante  $\vec{F}$  appliquée au solide est égale au produit scalaire de  $\vec{F}$  par le vecteur vitesse  $\vec{v}$  du solide :

$$P_{moyenne} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Si la vitesse n'est pas constante au cours du temps,  $\vec{v}$  désigne la vitesse à l'instant  $t$ , le terme  $\vec{F} \cdot \vec{v}$  représente la puissance instantanée.



# Énergie cinétique



# Énergie cinétique

## I. Énergie cinétique

### A. $E_c$ d'un point matériel

Un point matériel de masse  $m$ , se déplaçant à  $v$  transporte une énergie cinétique :

$$Ec = \frac{1}{2}m \cdot v^2$$

- $E_c$  en  $J$
- $m$  en  $kg$
- $v$  en  $m.s^{-1}$

**Remarque** : 1 électronvolt ou 1  $eV = 1,6.10^{-19} J$

### B. $E_c$ d'un solide en translation

Pour un solide de masse  $M$ , animé d'un mouvement de translation, tous les points ont même vecteur vitesse  $\vec{v}_G$ , l'énergie cinétique du solide vaut

$$Ec = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v_G^2$$

### C. $E_c$ et référentiel

L'énergie cinétique dépend du référentiel dans laquelle on la calcule.

**Exemple** : 1 homme de  $70 kg$  est assis dans un avion en vol à  $1000 km.h^{-1}$ .

Dans le référentiel de l'avion,  $v_{passager} = 0$  donc  $E_c = 0$

Dans le référentiel terrestre,  $v_{passager} = v_{avion}$  et  $E_{Cpassager} = \frac{1}{2}mv^2 = 2,7.10^6 J$

**Remarque** : si le solide est en rotation autour d'un axe fixe ( $\Delta$ ) passant G, l'Ec du solide dépend de ? et de la répartition de m autour ?.

## II. Forces et $E_c$

### A. Approche qualitative

### B. Théorème de l'énergie cinétique

#### 1. Cas d'un point matériel

En même temps que son  $E_c$  varie, un point matériel se déplace et les forces appliquées travaillent.

Dans un référentiel galiléen, lorsqu'un point matériel de masse  $m$  se déplace de  $A$  à  $B$ , la variation de son énergie cinétique est égale à la somme des travaux des forces qui lui sont appliquées.

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = \Sigma W_{A \rightarrow B}(\overrightarrow{F_{ext}})$$

#### 2. Cas d'un solide indéformable animé d'un mvt de translation

Tous les points du solide ont même vitesse.

Dans un référentiel galiléen, lorsque  $G$  d'un solide de masse  $M$  animé d'un mvt de translation se déplace d'une position  $A$  à une position  $B$ , la variation de l'énergie cinétique du solide vaut :

$$\frac{1}{2}Mv_B^2 - \frac{1}{2}Mv_A^2 = \Sigma W_{A \rightarrow B}(\overrightarrow{F_{ext}})$$

### C. Interprétation énergétique du mouvement

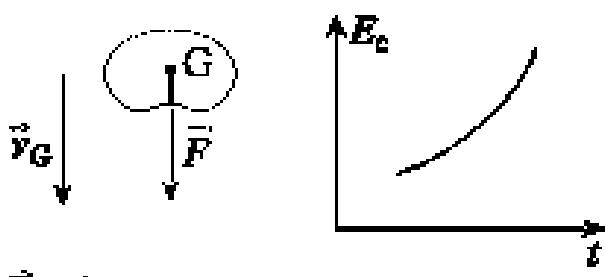
Le travail des forces extérieures permet au solide en translation d'échanger de l'énergie avec l'extérieur :

Si le travail des forces appliquées est moteur  $W_{A \rightarrow B}(\overrightarrow{F_{ext}}) > 0$ , l'énergie cinétique du solide augmente.

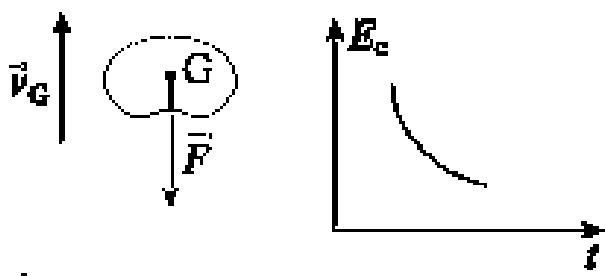
Si le travail des forces appliquées est résistant  $W_{A \rightarrow B}(\overrightarrow{F_{ext}}) < 0$ , l'énergie cinétique du solide diminue.



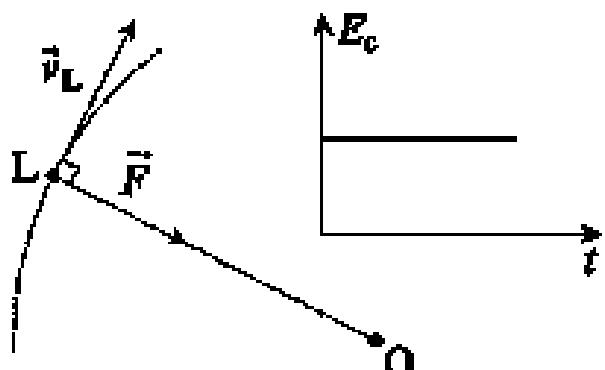
# Énergie cinétique



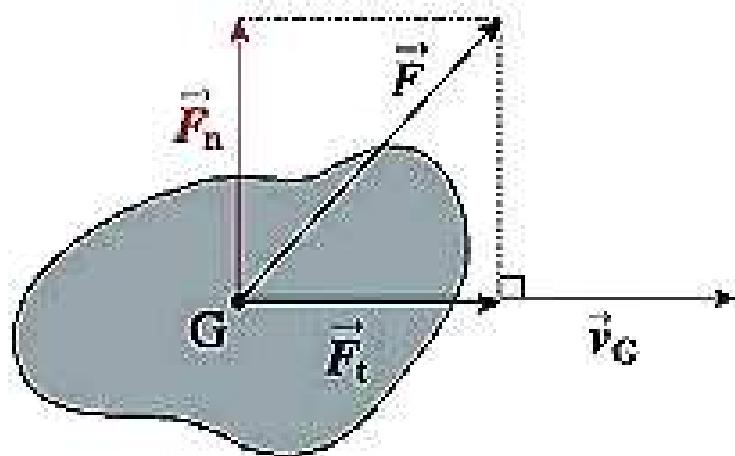
$\vec{F}$  et  $\vec{v}_G$  sont de même sens :  $E_c$  croît.



$\vec{F}$  et  $\vec{v}_G$  sont de sens opposés :  $E_c$  décroît.



$\vec{F}$  et  $\vec{v}_L$  sont perpendiculaires :  $E_c$  reste constante.



$\vec{F}$  et  $\vec{v}_G$  sont quelconques :  $\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_n$

# TP : Théorème de l'énergie cinétique

## Objectifs

- utiliser un tableur-grapheur
- retrouver la relation entre le travail de la résultante des forces appliquées à un mobile et l'énergie cinétique

## Matériel

- table horizontale
- mobile autoporteur
- fil
- poulie
- masse

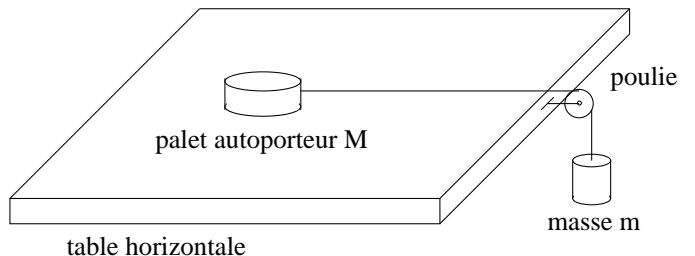


FIG. 1 – Dispositif expérimental

Un mobile auto-porteur, de masse  $M$ , attaché à un fil auquel est suspendue une masse  $m$ , se déplace sans frottement sur une table plane et horizontale. On considère que la poulie qui modifie la direction du fil n'est le siège d'aucun frottement.

Un enregistrement du mouvement du centre d'inertie  $G$  du mobile est réalisé.

$$M = 756 \text{ g} ; m = 40 \text{ g} ; \tau = 40 \text{ ms}$$

1. Faire le bilan détaillé des forces appliquées au mobile au cours de son mouvement. On admettra que la tension du fil est constante et vaut :  $T = \frac{M \cdot m}{M + m} g$ . Quelle est la résultante des forces ?
2. Quelle est la nature du mouvement du mobile ? Justifier en utilisant les cours précédents.
3. Construire un repère adapté à l'étude du mouvement et mesurer très précisément les abscisses  $x$  des positions du centre d'inertie du mobile.
4. Compléter le tableau suivant dans le tableur Ressessi :

- Fichier ; Nouveau ; Clavier ;  $t \dots ; x \dots$  entrer les valeurs de  $t$  et de  $x$ .
- Créer grandeur (Y+) ; Nom : V ; Unité ... ; Dérivée :  $\frac{dx}{dt}$  ; OK.
- Créer grandeur ; Grandeur calculée ; Nom :  $E_c$  ; Unité :  $J$  ; Expression : ...

Date $t$	0			
Abscisse $x$	0			
Vitesse $V$				
$E_c$ en $J$				

5. Tracer le graphe  $x = f(t)$ .
6. Tracer le graphe  $E_c = f(x)$ .
  - (a) À partir de la modélisation, déterminer le coefficient directeur.
  - (b) En utilisant le théorème de l'énergie cinétique entre les dates  $t_0$  et  $t_i$ , montrer que l'on peut prévoir la valeur du coefficient précédent. Que représente-t-il ?
  - (c) Vérifier la cohérence de votre résultat en calculant l'écart relatif entre la valeur théorique et la valeur expérimentale.

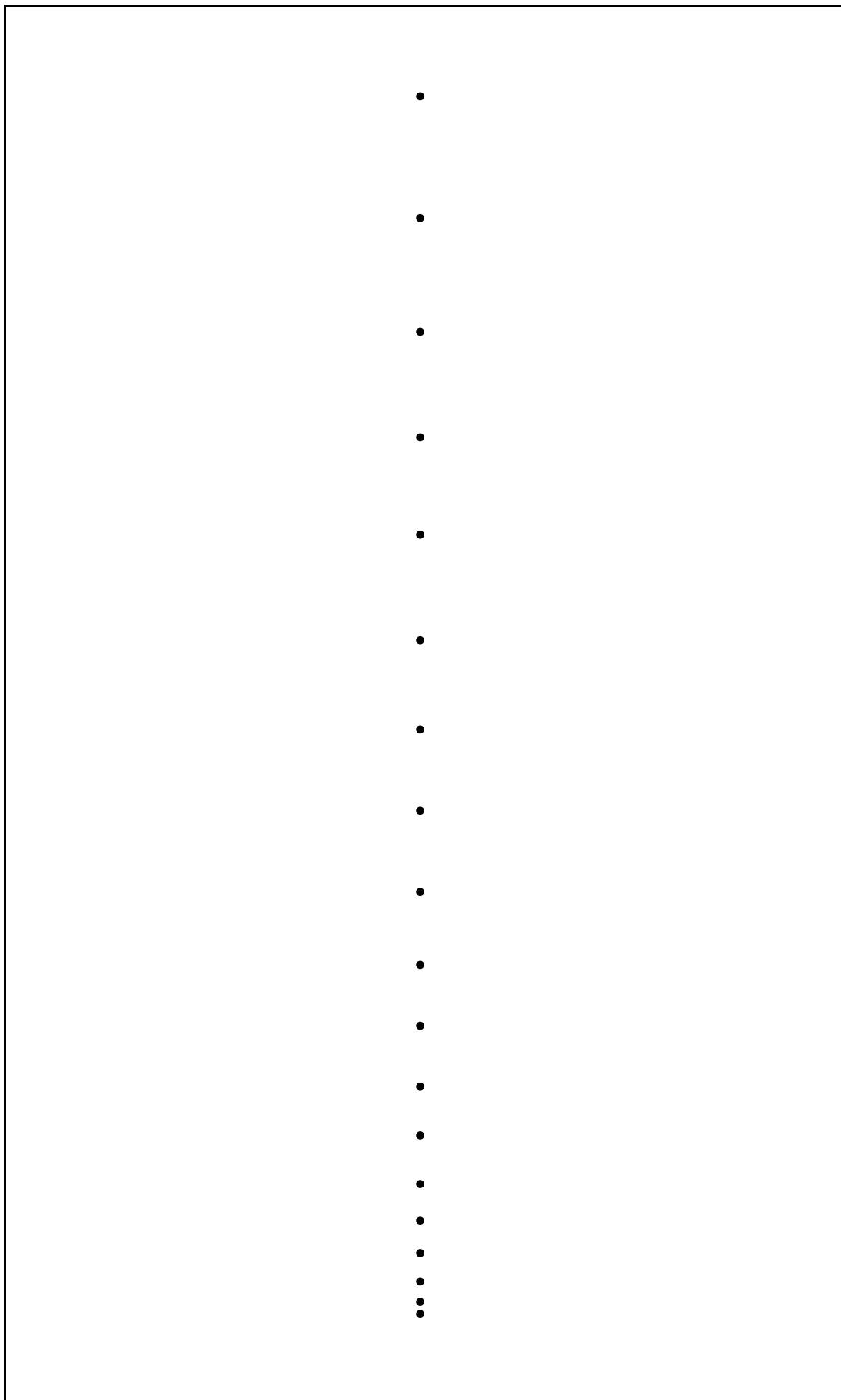


FIG. 2 – Enregistrement du mouvement du centre d'inertie  $G$  du mobile

# Énergie mécanique



# Énergie potentielle

## I. Définition

Dans le référentiel terrestre, même au repos, un solide possède du fait de sa masse, de sa position par rapport au sol, et de l'attraction terrestre une énergie cachée appelée énergie potentielle de pesanteur. Cette énergie augmente quand l'altitude augmente.

## II. Énergie potentielle au voisinage de la Terre

### A. Solide en chute libre

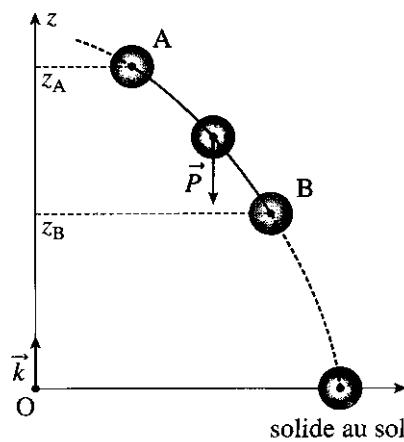


FIG. 1 – Chute libre d'un solide entre deux positions *A* et *B*

On applique le théorème de l'énergie cinétique au solide entre *A* et *B*. Seul le poids travaille.

$$E_{CB} - E_{CA} = \frac{1}{2}Mv_B^2 - \frac{1}{2}Mv_A^2 = W_{A \rightarrow B}(P) = M \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$

$$\frac{1}{2}Mv_B^2 + M \cdot g \cdot z_B = \frac{1}{2}Mv_A^2 + M \cdot g \cdot z_A$$

Dans chacune des positions *A* et *B*, le solide possède de l'énergie cinétique ( $E_C$ ) et de l'énergie potentiel ( $E_P$ ) de pesanteur.

$$E_{PA} = M \cdot g \cdot z_A \text{ et } E_{PB} = M \cdot g \cdot z_B$$

$$E_P(z_G) = M \cdot g \cdot z_G$$

- $E_P$  en  $J$
- $M$  en  $kg$
- $g$  en  $N \cdot kg^{-1}$
- $z_G$  en  $m$
- $Oz$  orienté vers le haut.

**Remarque :** l'énergie potentielle est une grandeur algébrique.

- $E_P > 0$  si  $z > 0$
- $E_P < 0$  si  $z < 0$

**Remarque :** On ne sait mesurer que des variations d' $E_P$ . L' $E_P$  n'est donc connue qu'à une constante près. Le niveau de référence choisi généralement pour  $E_p = 0$  est l'origine du repère  $z = 0$  voire le niveau de la mer : altitude nulle.

## B. Variation de l'énergie potentielle

### 1. Chute libre d'un solide

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = Mg(z_A - z_B) = E_{pA} - E_{pB} > 0$$

La variation de l' $E_p$  de  $A$  à  $B$  s'écrit :

$$\Delta E_p = E_{pB} - E_{pA} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

### 2. Solide en translation rectiligne uniforme

Au contraire de précédemment, un solide soulevé par une grue est animé d'un mouvement de translation rectiligne qui fait passer l'altitude de son centre d'inertie de  $\vec{z}_A$  à  $\vec{z}_B > \vec{z}_A$ . Les vitesses en  $A$  et  $B$  sont nulles. Ce solide est soumis à  $\vec{P}$  et la tension du câble  $\vec{T}$ .

$$\frac{1}{2}Mv_B^2 - \frac{1}{2}Mv_A^2 = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{T}) = 0$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = -W_{A \rightarrow B}(\vec{T})$$

$$E_{pB} - E_{pA} = M \cdot g \cdot z_B - M \cdot g \cdot z_A = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = +W_{A \rightarrow B}(\vec{T})$$

Le travail positif fourni par la tension  $\vec{T}$  explique l'augmentation de l'énergie potentielle.

### 3. Généralisation

La variation d' $E_p$  est égale à l'opposé du travail de la force de pesanteur.

$$E_{pB} - E_{pA} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$

## III. Énergie potentielle de gravitation

Si l'on ne travaille plus dans un espace où le champ de pesanteur est  $g_0$ , on utilise l'expression de l' $E_p$  de gravitation. On choisit comme niveau de référence  $E_p = 0$  pour une altitude infinie, l'expression de  $E_p$  pour 1 solide de masse  $m$  est :

$$E_p = -G \frac{mM_T}{R_T + z}$$

**Rappel :**  $g$  s'exprime de la façon suivante :  $g = G \frac{M_T}{(R+Z)^2}$ .

- $M_T$  en  $kg$
- $R_T$  en  $m$
- $z$  en  $m$
- $G = 6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot kg^{-2} \cdot m^2$ .

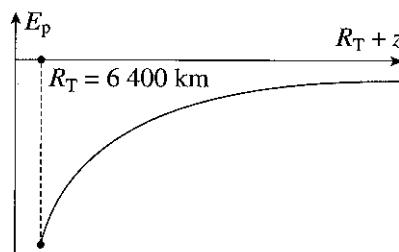


FIG. 2 – Variation de l'énergie potentielle d'un solide en fonction de sa distance au centre de la Terre

Là encore,  $E_{pB} - E_{pA} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{gravitationnelle})$ .

## IV. Énergie mécanique

### A. Chute libre d'un solide

On a vu que :

$$\frac{1}{2}Mv_B^2 + M \cdot g \cdot z_B = \frac{1}{2}Mv_A^2 + M \cdot g \cdot z_A$$

d'où

$$E_{cA} + E_{pA} = E_{cB} + E_{pB}$$

La somme  $E_c + E_p$  des énergies cinétique et potentielle reste constante. Elle se conserve.

### B. Mobile autoporteur en mouvement sans frottement

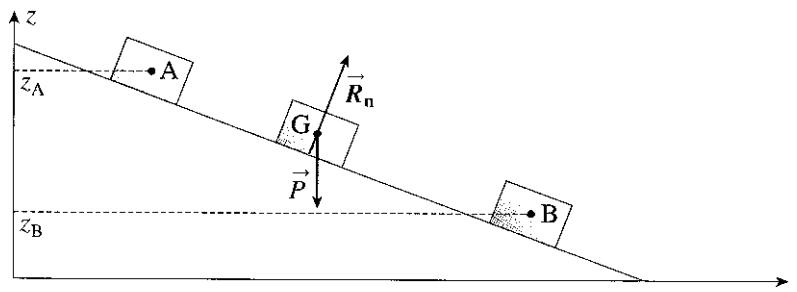


FIG. 3 – Mobile autoporteur en mouvement sans frottement

Ici encore, on démontre facilement que  $E_c + E_p = cte$  puisque seul  $\vec{P}$  travaille. Dans un référentiel terrestre,  $E_c + E_p = cte$  lorsque seul le poids travaille.

### C. Échanges d'énergie

Lorsque seul  $\vec{P}$  travaille,  $E_c + E_p = cte$  et ne dépend donc pas de l'altitude  $z$ .

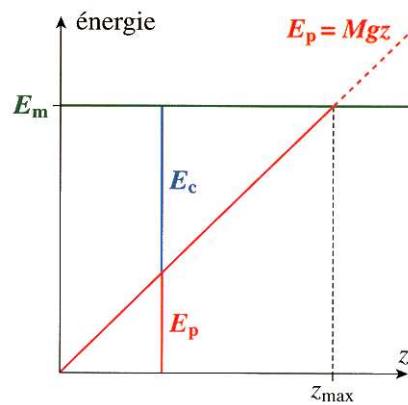


FIG. 4 – Représentation des énergies potentielle et mécanique en fonction de l'altitude

On note  $E_m = E_c + E_p$ , l'**énergie mécanique** du solide.

- Quand le solide monte,  $E_p$  augmente et  $E_c$  diminue d'autant.
- Quand il descend  $E_p$  diminue et  $E_c$  augmente.

Il y donc échange entre les formes cinétique et potentielle lorsque  $z_G$  varie.

Pour une valeur de  $E_m$  donnée, le graphe met en évidence l'altitude maximale accessible.

## D. L'énergie mécanique ne se conserve pas dans tous les cas

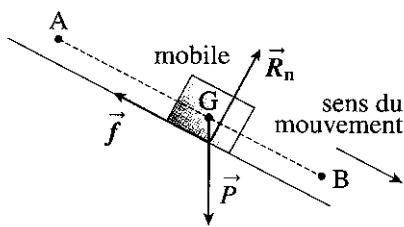


FIG. 5 – Mobile autoporteur soumis à des frottements

S'il existe des forces de frottement, celles-ci travaillent et dissipent de l'énergie sous forme de chaleur.

$$E_{cB} - E_{cA} = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_n) + W_{A \rightarrow B}(\vec{f})$$

$$E_{cB} - E_{cA} = E_{cA} - E_{cB} + 0 + W_{A \rightarrow B}(\vec{f})$$

$$E_{mB} - E_{mA} = W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) < 0.$$

Ici, l'énergie mécanique du mobile ne se conserve pas : elle décroît au cours du temps.  
Il y a ***production de chaleur***.

# TP : Énergie mécanique d'un mobile sur un aérobanc

## Objectifs

- utiliser un tableur
- vérifier la conservation de l'énergie mécanique

## Matériel

- mobile sur aérobanc
- logiciel tableur

## I. Étude cinématique

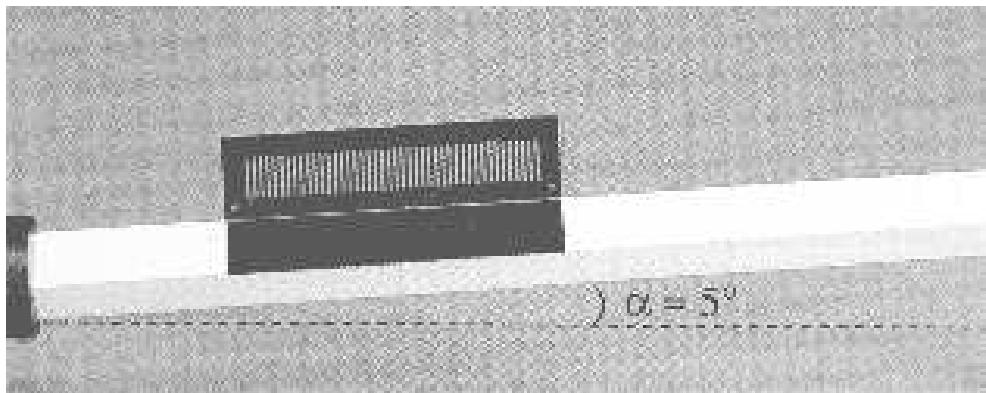


FIG. 1 – Mobile sur un aérobanc

On lâche un mobile du haut d'un banc à coussin d'air. Le banc est incliné d'un angle  $\alpha = 5^\circ$  par rapport à l'horizontale. le mobile de masse  $m = 51,8\text{ g}$  est équipé d'une échelle de  $n$  barreaux opaques espacés d'une distance égale à la largeur d'un barreau.

Au cours du mouvement, il passe dans la fourche d'un capteur à infrarouge relié à un ordinateur interfacé.

L'enregistrement des dates  $t_i$  de passage de chaque barreau se déclenche lors du passage du premier barreau au niveau du capteur. Le logiciel calcule, pour chaque date  $t_i$ , la distance  $x_i$  parcourue par le mobile et la vitesse  $v_i$  du mobile et propose les résultats sous la forme d'un tableau  $(x, t, v)$ .

1. Sur un schéma représenter :

- les forces extérieures appliquées au mobile,
- un axe ( $Ox$ ) parallèle au plan incliné et orienté vers le bas,
- un axe ( $Oz$ ) vertical et orienté vers le haut.

L'origine  $O$  est la position initiale du centre d'inertie du mobile.

2. Pour le mobile de coordonnée  $x$  à la date  $t$ , exprimer l'altitude  $z$  en fonction de  $x$  et des paramètres du montage. Justifier le signe.

## II. Étude énergétique

1. Pour le mobile de coordonnée  $x$  à la date  $t$ , exprimer en fonction de  $t$ ,  $x$  ou  $v$  et des paramètres du montage :

- (a) l'énergie cinétique  $E_c$
- (b) l'énergie potentielle  $E_p$
- (c) l'énergie mécanique  $E_m$

2. Traitement des données à l'aide du tableur Régressi.

(a) Ajouter dans le tableau de données  $(x, t, v)$  le calcul des grandeurs  $E_c$ ,  $E_p$  et  $E_m$

Le sinus d'un angle s'écrit  $\sin(\dots)$  en n'oubliant pas de sélectionner degré.

(b) Faire tracer, sur un même graphique les variations des fonctions  $E_c(t)$ ,  $E_p(t)$  et  $E_m(t)$ .

- Modéliser  $E_m(t)$
- Identifier chaque courbe
- Mettre un titre dans la zone blanche
- Imprimer les graphes, tableau et modélisation
- Interpréter l'allure des trois courbes.
- Y a-t-il conservation de l'énergie mécanique ? Justifier.

# **Transferts thermiques**



# Les transferts d'énergie

**L'énergie :** Caractéristique que possède un système s'il est capable de produire du travail.

## I. Le travail d'une force est un premier mode de transfert d'énergie

### A. Exemple 1

Une force manuelle exerce un travail pour comprimer un ressort lanceur de flipper horizontal ( $z = 0$ ).

On suppose qu'il n'y a pas de frottement. L' $E_m$  du ressort se conserve donc.

En A :  $E_{cA} = 0$  et  $E_{pA} = 0$ .

En B :  $E_{cB} = 0$  et  $E_{pB} = 0$ .

Pourtant le système a emmagasiné une énergie de type élastique qu'il est capable de restituer (sous forme de travail de la force de Tension).

### B. Exemple 2

Une force manuelle exerce un travail pour écraser le piston et comprimer le gaz intérieur au cylindre horizontal ( $z = 0$ ).

On suppose qu'il n'y a pas de frottement. Là aussi, l' $E_m$  du piston se conserve. Pourtant le système emmagasine de l'énergie élastique et thermique (vitesse + élevée des particules) qu'il est capable de restituer (sous forme de travail des forces de pression).

Le travail d'une force peut permettre à un système d'emmageriner, de stocker de l'énergie.

## II. L'énergie interne $U$

Un système peut posséder de l'énergie macroscopique, visible à notre échelle :  $E_c$ ,  $E_p$  due à une position par rapport à un corps extérieur.

On regroupe sous la dénomination énergie interne  $U$ , toutes les autres formes d'énergie pouvant être emmagasinées par un système.

- **L'énergie thermique** : c'est l' $E_c$  microscopique des particules du système.
- **L'énergie élastique** : elle provient de l'existence de forces d'interaction entre les particules (cf. Force de coulomb).
- **L'énergie chimique** : a pour origine l'existence de forces d'interaction entre les atomes des molécules.
- **L'énergie nucléaire** : elle a pour origine l'existence de forces d'interaction entre les nucléons des noyaux (interaction forte).

**Remarque :** les 3 dernières énergies sont associées à des interactions entre les particules du système. Ce sont des  $E_p$  microscopiques.

## III. La chaleur ou transfert thermique est un deuxième mode de transfert d'énergie

### A. Définition

Il y a transfert thermique noté  $Q$ , chaque fois que l'on met en contact 2 corps ayant des  $T$  différentes. Le transfert thermique s'effectue spontanément du corps ayant la température la + élevée vers le corps ayant la température la + basse.

Au cours du transfert thermique,

- l'énergie thermique du corps chaud diminue,
- celle du corps froid ?.

Le transfert thermique cesse quand l'équilibre thermique est atteint,  $T_A = T_B$ .

## B. Transfert thermique par *conduction* (dans les solides)

### *Observation*

Ce sont d'abord les boules de cire situées près de la l'extrémité chauffée qui fondent. Puis les autres. Il y a transfert thermique de l'extrémité chauffée vers l'extrémité froide : **conduction**.

### *Interprétation microscopique*

Propagation de proche en proche de l'agitation thermique atomique par chocs successifs, *sans transport de matière*.

## C. Transfert thermique par *convection* (dans les fluides)

### *Observation*

Lorsqu'un fluide (gaz ou liquide) est chauffé au contact d'une source chaude, un courant de circulation se met en place au sein du fluide. Il y a transport de matière.

Cf : convector mural.

### *Interprétation microscopique*

$T$  augmente  $\implies E_{cmicroscopique}$  augmente  $\implies$  l'échantillon fluide (7 molécules) se dilate,  $\implies \rho = \frac{m}{V}$  diminue,  $\implies d = \frac{\rho}{\rho_0}$  diminue, élévation de l'échantillon. et Vice versa.

## D. Ne pas confondre $Q$ et $T$

La chaleur est un transfert thermique d'énergie :  $Q$  en  $J$ .

La température caractérise l'agitation microscopique des particules constituant le corps :  $T$  en  $K$  ou  $^{\circ}C$ .

## E. Travail et transfert thermique

Pour chauffer 1 gaz, on peut utiliser un **travail** (compression rapide - pompe à vélo), un **transfert thermique** (le plonger ds 1 fluide chaud).

- **Le travail est un transfert d'énergie ordonné** : le piston de la pompe pousse les molécules du gaz dans une même direction.
- **Le transfert thermique est un transfert d'énergie désordonné** sans direction privilégiée.
- **La conversion de  $W$  en  $Q$  est facile**. Travail des forces de freinage d'une auto, converti en échauffement des plaquettes, disques.
- **La conversion inverse est délicate et demande des dispositifs élaborés** : moteurs thermiques. (Jamais  $\eta = 100\%$ ).

## IV. Un troisième mode de transfert d'énergie : le *rayonnement*

Tout corps du fait de sa température, rayonne : il émet des ondes électromagnétiques. Ces ondes transportent de l'énergie.

Le rayonnement est d'autant + important que la  $T$  du corps est élevée.

Émission d'ondes :  $T$  corps émetteur diminue.

Absorption d'ondes :  $T$  corps récepteur augmente. Cette absorption est + importante si la couleur du corps est + foncée.

### *Remarque :*

- 8 % de l'énergie solaire rayonnée correspond à des UV
- 41 % de l'énergie solaire rayonnée correspond à du visible
- 51 % de l'énergie solaire rayonnée correspond au domaine des IR

## V. Conservation de l'énergie totale

$$E_{T\ systmeisol} = E_{cmacroscoique} + E_{p\ macroscoique} + U = cte$$

Si un corps a perdu de l'énergie sous forme de  $W$ , ou  $Q$  ou rayonnement, il n'est pas isolé et la même quantité d'énergie a été gagnée par un ou plusieurs autres systèmes.

$$\Delta E_{T\ systmenonisol} = W + Q + Rayonnement$$

# TP : Transferts thermiques

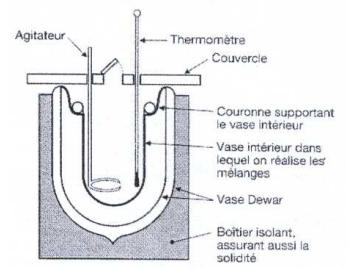
## Capacité thermique d'un calorimètre et ses accessoires

### Objectifs

- Savoir de quoi dépend la quantité de chaleur  $Q$  reçue par un corps
- Calculer la quantité de chaleur absorbée ou cédée par un corps.
- Déterminer la capacité thermique d'un calorimètre.
- Vérifier le principe de conservation de l'énergie.

### Matériel

- calorimètre
- agitateur
- thermomètre



Lorsqu'un corps qui ne subit ni transformation physique (changement d'état), ni transformation chimique, reçoit de la chaleur, sa température augmente.

## I. De quoi dépend la quantité de chaleur $Q$ reçue par un corps ?

### A. Expériences

Chauder régulièrement, sans en provoquer l'ébullition, une masse  $m$  d'eau. La quantité de chaleur  $Q$  reçue par l'eau est effectivement proportionnelle à la durée de chauffage si celui-ci est maintenu constant.

On désigne par :

- $t$  : durée de chauffage en seconde
- $\theta$  : température en  $^{\circ}\text{C}$  de l'eau

Par des relevés judicieux, montrer que :

- la quantité de chaleur fournie à l'eau pour éléver sa température de  $\theta_1$  à  $\theta_2$  est proportionnelle à la variation de température  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$
- pour une même élévation de température, la quantité de chaleur fournie à l'eau est proportionnelle à la masse d'eau.
- la quantité de chaleur fournie à un corps pour modifier sa température dépend de la nature de ce corps.

### B. Exploitations

On peut formuler ces résultats à l'aide de la relation suivante :

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1)$$

avec :

- $Q$  : quantité de chaleur (en  $J$ ) qu'il faut fournir à une masse  $m$  d'un corps pour éléver sa température de  $\theta_1$  à  $\theta_2$ .
- $m$  : masse du corps (en  $kg$ )
- $c$  : capacité calorifique massique du corps (spécifique au corps)
- $\theta_2 - \theta_1$  : variation de température (en  $^{\circ}\text{C}$  ou en  $K$ )

Quelle est l'unité de  $c$  ?

**Remarque :** on admettra que la capacité thermique massique de l'eau vaut  $c_{eau} = 4180 \text{ USI}$

## II. Détermination de la capacité thermique d'un calorimètre

Un calorimètre est une enceinte adiabatique. Dans la pratique, les transferts thermiques entre l'intérieur du calorimètre et l'extérieur sont très lents et peuvent être négligés. Un calorimètre permet de mesurer, par des repérages de températures, les quantités de chaleur échangées entre les corps enfermés dans l'enceinte.

## A. Principe de la manipulation

- Enfermer une masse  $m_1$  d'eau froide dans le calorimètre. Attendre la fin des transferts de chaleur entre le calorimètre et l'eau introduite ; noter alors  $\theta_1$ .
- Verser dans le calorimètre une masse  $m_2$  d'eau chaude à la température  $\theta_2$ .
- Agiter légèrement le mélange. Lorsque la température de celui-ci se stabilise, les transferts thermiques à l'intérieur du calorimètre sont achevés.
- Relever la température finale  $\theta_{equi}$  à l'équilibre thermique.

## B. Exploitation

Le calorimètre participe aussi au bilan thermique. C'est pourquoi le constructeur en donne la capacité thermique que l'on note  $C_{calo}$  (attention c'est un « C » **MAJUSCULE** car c'est une capacité thermique (tout court... pas une capacité thermique **massique** que l'on note avec un « c » **minuscule**)).

On désigne les éléments constituant notre système ainsi :

- corps 1 : calorimètre et l'eau froide
- corps 2 : eau chaude

1. Quelle est l'unité de  $C_{calo}$  ?
2. Le corps 2 cède une certaine quantité de chaleur  $Q_2$  :  $Q_2 = m_2c(\theta_{equi} - \theta_2)$ . Quel est le signe de  $Q_2$  ?
3. Le corps 1 reçoit la quantité de chaleur  $Q_1$  :  $Q_1 = m_1c(\theta_{equi} - \theta_1) + C_{calo}(\theta_{equi} - \theta_1)$ . Quel est le signe de  $Q_1$  ?
4. Écrire alors l'équation calorimétrique en supposant l'enceinte du calorimètre adiabatique.
5. En déduire  $C_{calo}$ .

## C. Manipulation

1. Relever le numéro du calorimètre que vous utilisez.
2. Peser le calorimètre vide et sec, muni de ses accessoires (couvercle, agitateur).  
On note  $m = \dots$  cette masse.
3. Introduire environ 200 mL d'eau à température ambiante et repeser le calorimètre + eau.  
On note  $m' = \dots$  cette masse.  
En déduire la masse d'eau froide  $m_1 = \dots$ .  
Agiter et noter la température d'équilibre de l'ensemble  $\theta_1 = \dots$ .
4. Préparer **en même temps** un bêcher contenant environ 200 mL d'eau chaude. Quand on est prêt à la verser dans le calorimètre, relever sa température toutes les 10 s pendant 1 min, sans agitation.  
On garde la température finale juste avant de verser l'eau soit  $\theta_2 = \dots$ .
5. Verser alors immédiatement l'eau chaude du bêcher à la température  $\theta_2$  dans le calorimètre. Refermer immédiatement celui-ci. Agiter régulièrement et relever périodiquement (toutes les 30 s) la température. Noter la température maximale atteinte par ce mélange soit  $\theta_{equi} = \dots$ .
6. Peser une dernière fois le calorimètre.  
On note  $m'' = \dots$  cette masse.  
En déduire la masse d'eau chaude versée  $m_2 = \dots$ .
7. Résultats :

Numéro du calorimètre .....

$C = \dots$

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
$m_{calo}$ (g)				
$m'_{calo+eaufr.}$ (g)				
$m''_{calo+eaufr.}$ (g)				
$m_1$ (g)				
$m_2$ (g)				
$\theta_1$ ( $^{\circ}C$ )				
$\theta_2$ ( $^{\circ}C$ )				
$\theta_{equi}$ ( $^{\circ}C$ )				
$C_{calo}$ ( $J.K^{-1}$ )				

# TP : Mesure de la capacité thermique massique d'un métal

## Objectifs

- savoir utiliser la méthode des mélanges
- mesurer une capacité thermique massique

## Matériel

- calorimètre et ses accessoires
- deux thermomètres gradués au degré près
- bêcher gradué
- système de chauffage
- solide muni d'une ficelle
- support

## I. Principe

La méthode utilisée ici pour mesurer la capacité thermique massique d'un métal est appelée *méthode des mélanges*. On plonge un bloc de métal dans de l'eau chaude suffisamment longtemps pour qu'il soit à la température  $\theta_2$ . On plonge alors ce bloc de métal dans de l'eau froide à la température  $\theta_1$ . La température se stabilise à  $\theta_{\text{équi}}$ .

Lorsque l'on connaît les températures  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_{\text{équi}}$ , la masse d'eau froide  $m_1$  et  $m_2$  celle du bloc métallique ainsi que la capacité thermique  $C_{\text{calo}}$  du calorimètre (voir TP précédent) et la capacité thermique massique de l'eau  $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  on peut trouver  $c_{\text{métal}}$  la capacité thermique massique du métal.

### A. État initial

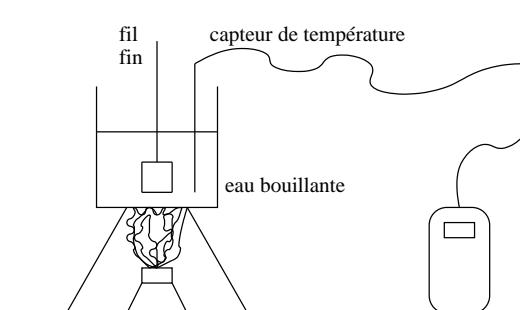


FIG. 1 – *bloc de métal* qui a séjourné quelques minutes dans l'eau bouillante

$$\left\{ \begin{array}{l} m_2 = \dots \dots \dots \\ \theta_2 = \dots \dots \dots \\ c_{\text{métal}} = ? \end{array} \right.$$

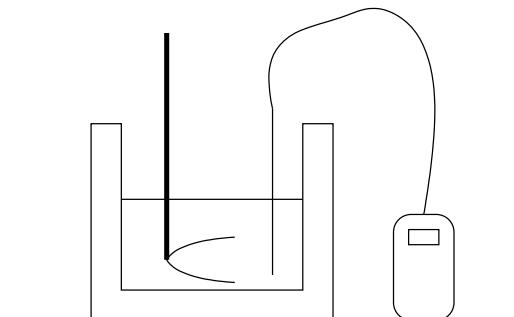


FIG. 2 – *eau froide*

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 = \dots \dots \dots \text{ (de l'ordre de } 250 \text{ g à } 300 \text{ g)} \\ \theta_1 = \dots \dots \dots \text{ (équilibre thermique)} \\ c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{array} \right.$$

<p><b>Calorimètre</b>  <input type="text" value="n° ....."/>  <math>C_{\text{calo}} = \dots \dots \dots \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}</math>  <math>\theta_1 = \dots \dots \text{ }^{\circ}\text{C}</math></p> <p>Calorimètre muni du vase + agitateur : <math>C_{\text{calo}} = 85 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}</math>      Calorimètre muni du vase + agitateur + rondelle alu (amortisseur) : <math>C_{\text{calo}} = 120 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}</math></p>
--

### B. État final

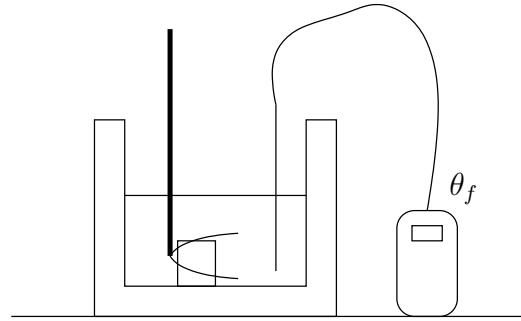


FIG. 3 – Bloc de métal dans le calorimètre

L'état final est obtenu en sortant **rapidement** le bloc de métal de l'eau bouillante et en le plongeant dans le calorimètre ; agiter alors et attendre, en relevant fréquemment la température, le nouvel équilibre thermique  $\theta_f$ .

## II. Calcul littéral

### A. Quantités de chaleur échangées

- $Q_1$  : quantité de chaleur gagnée par l'eau froide ;  $Q_1 = \Delta U_{1\text{micro}} = m_1 c_{\text{eau}}(\theta_{\text{équi}} - \theta_1) > 0$
- $Q_2$  : quantité de chaleur cédée par le métal ;  $Q_2 = \Delta U_{2\text{micro}} = m_2 c_{\text{métal}}(\theta_{\text{équi}} - \theta_2) < 0$
- $Q_3$  : quantité de chaleur gagnée par le calorimètre ;  $Q_3 = \Delta U_{3\text{micro}} = C_{\text{calo}}(\theta_{\text{équi}} - \theta_1) > 0$

### B. Bilan des échanges de chaleur

L'enceinte étant **adiabatique**<sup>1</sup>, écrire le bilan global des échanges de chaleur, à l'intérieur du calorimètre, une fois le « mélange » fait ; jusqu'à l'obtention de l'équilibre thermique.

$$\Delta U_{\text{micro}_{\text{calo} + \text{eau} + \text{métal}}} = Q_t = 0 \text{ J} = \Delta U_{1\text{micro}} + \Delta U_{2\text{micro}} + \Delta U_{3\text{micro}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

### C. Expression de $c_{\text{métal}}$

En déduire la valeur de  $c_{\text{métal}}$  :

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = m_1 c_{\text{eau}}(\theta_{\text{équi}} - \theta_1) + m_2 c_{\text{métal}}(\theta_{\text{équi}} - \theta_2) + C_{\text{calo}}(\theta_{\text{équi}} - \theta_1) = 0$$

soit  $(m_1 c_{\text{eau}} + C_{\text{calo}})(\theta_{\text{équi}} - \theta_1) + m_2 c_{\text{métal}}(\theta_{\text{équi}} - \theta_2) = 0$

$$c_{\text{métal}} = \frac{(m_1 c_{\text{eau}} + C_{\text{calo}})(\theta_{\text{équi}} - \theta_1)}{m_2(\theta_{\text{équi}} - \theta_2)}$$

## III. Manipulation

1. Suspendre le bloc de laiton, ou fer, ou aluminium dans une casserole d'eau bouillante.
2. Mesurer  $m_{\text{calo} + \text{accessoires}} = \dots \text{ g}$   
puis  $m'_{\text{calo} + \text{accessoires} + \text{eau froide}} = \dots \text{ g}$
3. En déduire  $m_{\text{eau}} = \dots \text{ g}$ .
4. Noter la température d'équilibre  $\theta_1$  du calorimètre + eau froide.
5. Retirer le métal de l'eau bouillante ( $\theta_2 \approx 100^\circ\text{C}$ ) et l'introduire **quasi-instantanément** dans le calorimètre.
6. Agiter et suivre l'évolution de la température ; lorsqu'elle se stabilise les transferts de chaleur sont terminés. Noter alors la température finale  $\theta_{\text{équi}}$  (ou  $\theta_f$ ). La température est stabilisée quand elle a atteint son maximum et n'évolue quasiment plus pendant 1 à 2 min.
7. Peser enfin, après l'avoir essuyé, le cylindre de métal.

## IV. Résultats

Calorimètre n° .....

	$m_1 (\text{kg})$	$\theta_1 (\text{ }^\circ\text{C})$	$\theta_2 (\text{ }^\circ\text{C})$	$\theta_{\text{équi}} (\text{ }^\circ\text{C})$	$m_1 (\text{kg})$	$c_{\text{métal}} (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
laiton						
fer						
aluminium						

**Valeurs théoriques :**

$$c_{\text{fer}} = 460 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad c_{\text{alu}} = 860 \text{ à } 910 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad c_{\text{laiton utilisé}} = 400 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

<sup>1</sup>isolé thermiquement donc  $Q_{\text{échangée avec l'extérieur}} = 0 \text{ J}$

# TP : Détermination de $L_f$ la chaleur latente de fusion de la glace

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

BINÔME : NOM : ..... Prénom : .....

## Objectifs

- Déterminer  $L_f$  la chaleur latente de fusion de la glace

## Matériel

- glaçons
- calorimètre et ses accessoires
- thermomètre
- bécher gradué

## I. Manipulation

1. Sortir les glaçons du réfrigérateur. Ils fondent partiellement.
2. Introduire un masse  $m_1$  d'eau dans le calorimètre à l'aide du bêcher gradué (environ 300 g).
3. Noter, à l'équilibre thermique, la température initiale  $\theta_1$ . Reporter les mesures dans le tableau final.
4. Introduire une masse  $m_2$  (environ 50 à 70 g de glaçons secs à  $\theta_2 = 0^\circ C$  (glace fondante). Reporter les mesures dans le tableau final.
5. À l'équilibre thermique, noter la température finale  $\theta_3$ .

## II. Principe : calculs théoriques

1. L'eau et le calorimètre cèdent une quantité de chaleur  $Q_1$  telle que  $Q_1 = m_1 c(\theta_3 - \theta_1) + C_{\text{calo}}(\theta_3 - \theta_1)$
2. La glace fond et l'eau obtenue passe de  $\theta_2 = 0^\circ C$  à  $\theta_3$  (température d'équilibre final). La quantité de chaleur  $Q_2$  reçue pour réaliser cette transformation peut se décomposer en deux parties !
  - (a)  $Q'_2 = m_2 \cdot L_f$  : chaleur reçue par la glace pour sa fusion.
  - (b)  $Q''_2 = m_2 \cdot c \cdot (\theta_3 - \theta_2) = m_2 \cdot c \cdot \theta_3$  (car  $\theta_2 = 0^\circ C$ ) : chaleur reçue par l'eau de fusion de la glace pour s'échauffer jusqu'à  $\theta_3$ .
3. Dans l'enceinte adiabatique, on a l'équation calorimétrique  $Q_1 + Q_2 = 0$  c'est à dire  $Q_1 + Q'_2 + Q''_2 = 0$ .  
Donc  $m_1 \cdot c \cdot (\theta_3 - \theta_1) + C_{\text{calo}} \cdot (\theta_3 - \theta_1) + m_2 \cdot L_f + m_2 \cdot c \cdot \theta_3 = 0$   
Soit

$$L_f = \dots$$

### III. Résultats des mesures

N° calorimètre : .....

$$C_{\text{calo}} \approx 130 \text{ J.K}^{-1}$$

$$c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$$

$m_{\text{calo}}$ (.....)			
$m'_{\text{calo}} + \text{eau}$ (.....)			
$m_1$ (.....)			
$\theta_1$ (.....)			
$\theta_3$ (.....)			
$m''_{\text{calo}} + \text{eau totale}$ (.....)			
$m_2$ (.....)			
$L_f$ (.....)			

$$\begin{cases} L_f = \dots \text{ (uniquement si plusieurs essais sont faits)} \\ L_{f\text{théorique}} = 3,35 \cdot 10^5 \text{ J.kg}^{-1} \text{ pour la glace à } 0^\circ\text{C} \end{cases}$$

Calculer  $\Delta L_f = |L_{f\text{théorique}} - L_{f\text{expérimental}}|$  : erreur absolue sur l'expérience.

Calculer  $\frac{\Delta L_f}{L_{f\text{théorique}}} \cdot 100$ , qui donne le pourcentage d'erreur relative.

On obtient ainsi une bonne estimation de la précision sur la détermination expérimentale de  $L_f$ .

$$\begin{cases} \Delta L_f = \dots \\ \frac{\Delta L_f}{L_{f\text{théorique}}} \cdot 100 = \dots \end{cases}$$

# La balance METTLER P1200

*Portée : 1200 g*

*Sensibilité : 0,01 g*

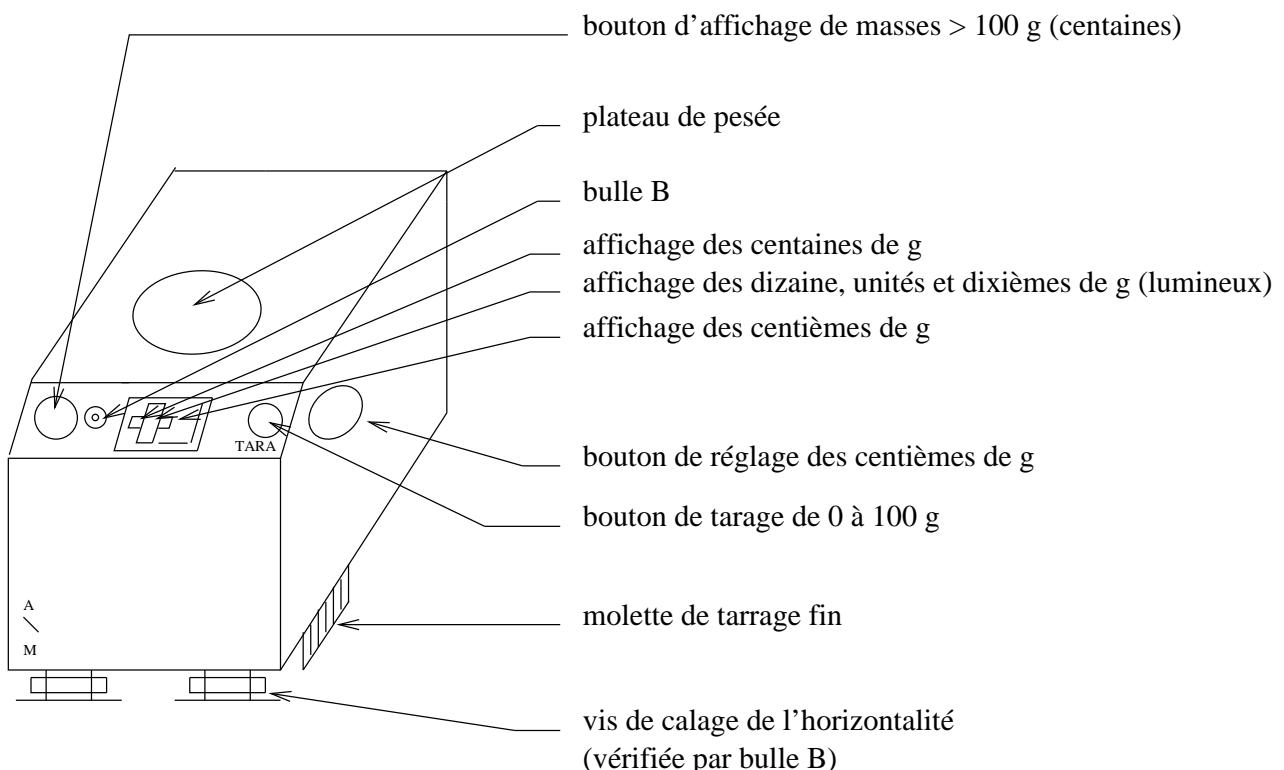


FIG. 1 – Schéma de la balance

1. Vérifier l'horizontalité de la balance (vis de calage + bulle B)
2. Allumer. La balance doit être à 000,00 g. L'élève précédent doit l'y avoir mise (sinon l'y mettre). Le bouton de tarage doit être lui aussi à zéro (en butée)
3. Si pesée directe d'un récipient R
  - (a) Poser délicatement R sur le plateau
  - (b) Si échelle lumineuse dépassée (le signe + apparaît), abaisser délicatement les centaines de g nécessaires.
  - (c) Régler les centièmes de g
  - (d) Relever  $m = \square\square\square, \square\square$  g
4. Si pesée d'une poudre ou d'un liquide :
  - (a) Tarer le récipient R :
    - le poser (vide) sur le plateau
    - tarer à zéro (bouton TARA 0 – 100 + molette de tarage fin)

**NE PLUS TOUCHER AU TARRAGE PENDANT LA PESÉE**
  - (b) Avec spatule verser les cristaux jusqu'à masse de poudre désirée (ou verser le liquide)
  - (c) Régler les centièmes de g.
  - (d) Relever  $m = \square\square\square, \square\square$  g
5. Éteindre la balance. Enlever le récipient du plateau. Rallumer et mettre tout à zéro (bouton de tarage ; centaines de g ; centième de g)



# Électricité



# Quelques rappels d'Électricité en courant continu

## I. Intensité dans un circuit en dérivation

D'après la *loi des nœuds* aussi appelée *loi de l'additivité de l'intensité* dans une portion de circuit en dérivation, on a :

La somme des intensités des courants arrivant à un nœud  
est égale à  
la somme des intensités des courants sortant du nœud.

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

## II. Tension dans un circuit dérivation

$$U_{AB} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

## III. Intensité dans un circuit série

$$I_G = I_R = I_L = I_M = \dots$$

## IV. Tension dans un circuit série

La tension totale entre deux points d'un circuit est égale à la somme des tensions partielles.

$$U_G = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

## V. Loi des mailles

La *loi des mailles* est un énoncé dérivé de la propriété d'additivité des tensions. Elle s'énonce ainsi :

- On choisit un point de départ et un sens de parcours arbitraire de la maille.  
• On affecte le signe + aux tensions dont la flèche est dans le même sens que le sens de parcours de la maille.  
• On affecte le signe - aux tensions dont la flèche est dans le sens contraire du sens de parcours de la maille.  
• La somme algébrique des tensions rencontrées dans une maille est nulle.

## VI. Conducteurs ohmiques (résistor)

D'après la *loi d'Ohm* appliquée aux bornes d'un résistor on a (dans la convention récepteur) :

$$U = R \cdot I$$

- $U$  en V
- $R$  en  $\Omega$
- $I$  en A

**Remarque :** Si on flèche la tension et le courant dans la convention générateur (les deux flèches dans le même sens) la loi d'Ohm devient alors :

$$U = -R \cdot I$$

La *résistance* électrique d'un fil est proportionnelle à sa longueur et vaut :

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- $R$  en  $\Omega$
- $l$  en m
- $S$  en  $m^2$
- $\rho$  en  $\Omega \cdot m$

La *conductance* d'un fil vaut :

$$G = \frac{1}{R} = \sigma \frac{S}{l}$$

- $G$  en S
- $R$  en  $\Omega$
- $l$  en m
- $S$  en  $m^2$
- $\sigma$  en  $S \cdot m^{-1}$

La résistance électrique dépend :

- du matériau utilisé
- de la température

## VII. Puissance en courant continu

La *puissance*  $P$  reçue par un appareil fonctionnant en courant continu est égale au produit de la tension  $U$  entre ses bornes par l'intensité  $I$  du courant qui la traverse.

$$P = U \cdot I$$

- $P$  en W
- $U$  en V
- $I$  en A

La *puissance*  $P$  reçue par une installation électrique est égale à la somme des puissances reçues par chacun des appareils pris séparément.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

## VIII. Énergie électrique

L'*énergie* électrique  $E$  consommée par un appareil de puissance  $P$  pendant une durée  $\Delta t$  est donnée par la relation :

$$E = P \cdot \Delta t$$

- $E$  en J
- $P$  en W
- $\Delta t$  en s

## IX. Branchement d'un multimètre

- Un voltmètre se branche en parallèle avec le dipôle. Il permet de déterminer la tension  $U$  entre ses bornes ( $V$  et  $COM$ ).
- Un ampèremètre se branche en série avec le dipôle. Il permet de déterminer l'intensité  $I$  du courant qui le traverse (de la borne  $A$  vers la borne  $COM$ ).
- Un ohmmètre se branche aux bornes du dipôle dont on veut déterminer la résistance électrique  $R$ . Il n'y a pas besoin de placer le dipôle dans un circuit électrique comportant un générateur pour déterminer la valeur de sa résistance ; il suffit de brancher le dipôle aux bornes  $\Omega$  et  $COM$ .



# Fiche de procédure pour la réalisation de montages électriques

**À appliquer tout le temps !**

- Lire le schéma électrique, prendre connaissance du nombre de dipôles qui le constitue.
- Utiliser les fils rouges du côté de la borne + du générateur et les fils noirs du côté de la borne -.
- Réaliser le montage en partant de la borne + du générateur en se souciant d'abord de la boucle principale. On doit brancher à ce moment les ampèremètres car ils sont en série avec les autres dipôles. On **ne doit pas encore** brancher les voltmètres car ils sont en dérivation.
- Si le montage comporte plusieurs dérivations (boucles), réaliser le montage des dérivations autres que la boucle principale.
- Brancher **maintenant** les voltmètres (car ils sont en dérivation)
- Souvent, dans le montage, par souci de précaution, on insère un bouton poussoir (ou un interrupteur noté  $K$ ).
- Les multimètres (en fonction ampèremètre ou en fonction voltmètre) doivent être correctement branchés (bornes) et correctement réglés (fonction, calibre) : voir « Utilisation du multimètre ».

Le multimètre est un appareil coûteux et fragile. Une mauvaise manipulation peut le détériorer. En l'absence de consignes du professeur, on doit toujours utiliser le calibre le plus élevé.

Il faudra éventuellement affiner la mesure en basculant vers un calibre inférieur au plus gros initialement choisi afin d'obtenir une mesure plus précise.

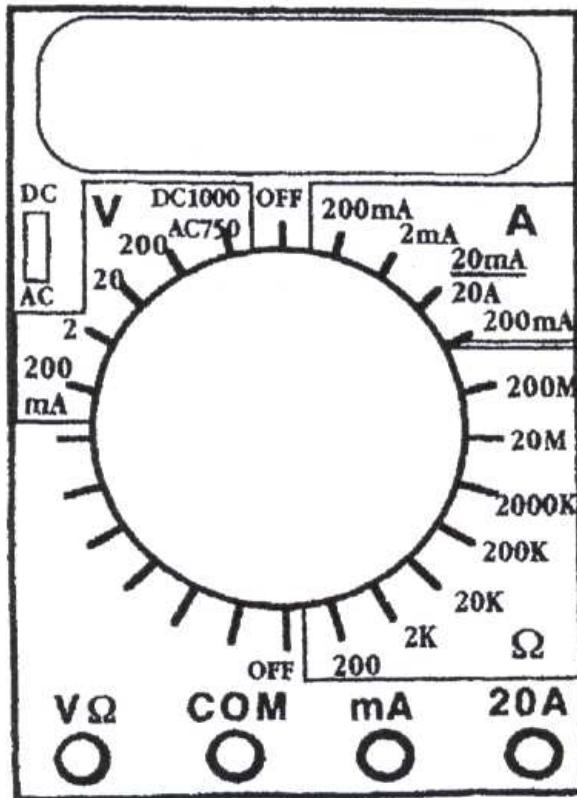
**Erreurs de branchements :** ne jamais placer un ampèremètre en dérivation seul (car l'ampèremètre de résistance interne quasi nulle est équivalent à un fil et court-circuite une partie du montage)

- Appeler discrètement le professeur pour vérification du montage.
- Après vérification par le professeur qui allumera l'alimentation on pourra fermer l'interrupteur (ou appuyer sur le bouton poussoir).
- Faire la ou les mesures.
- Ouvrir l'interrupteur  $K$  (ou relâcher le bouton poussoir).
- Éteindre le générateur.
- Éteindre les multimètres.

Ne jamais brancher le générateur seul dans une boucle (c'est à dire sans résistance électrique pour le protéger) car il est alors en court-circuit et risque d'être détruit.

Ne jamais toucher au montage lorsqu'il est sous tension !

# Utilisation du multimètre

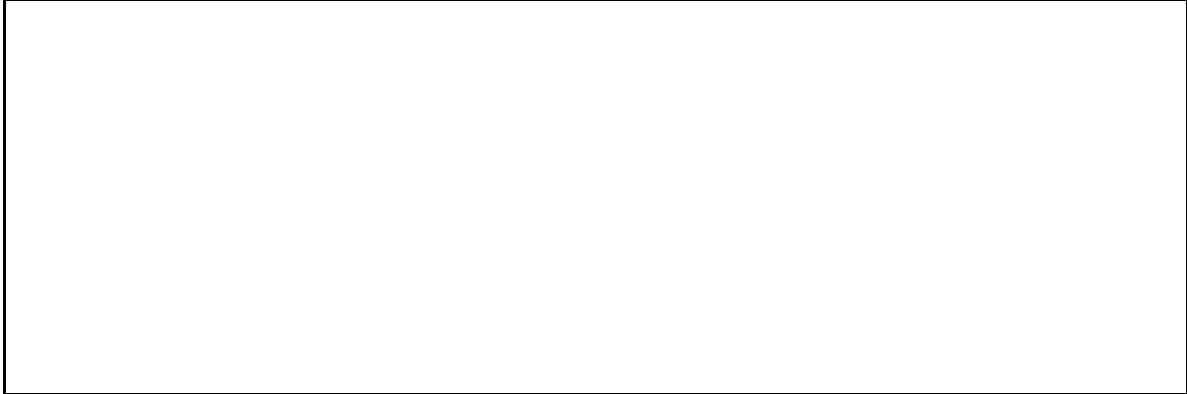


- L'appareil peut être utilisé en **voltmètre** : branchement à la borne  $V/\Omega$ . Mesure de la **tension électrique** en volts  $V$  ou sous-multiples.
- L'appareil peut être utilisé en **ohmmètre** : branchement à la borne  $V/\Omega$ . Mesure de la **résistance électrique** en ohms  $\Omega$  ou sous-multiples.
- L'appareil peut être utilisé en **ampèremètre** : branchement à la borne  $A$ . Mesure de l'**intensité électrique** en ampères  $A$ .
- L'appareil peut être utilisé en **milliampèremètre** : branchement à la borne  $mA$ . Mesure de l'**intensité électrique** en milliampères  $mA$  ou en microampères  $\mu A$ .
- La borne  $COM$  est la référence. Elle est toujours branchée directement ou indirectement à la borne - du générateur.
- L'une des trois autres bornes du multimètre est toujours branchée à la borne + du générateur.
- On place la molette en face du cadran qui correspond :
  - à la bonne fonction (ampèremètre, voltmètre, ...)
  - au bon calibre
- Par précaution, on commence toujours une mesure en se positionnant sur le calibre le plus grand (possibilité de mesurer les grandes valeurs sans saturer l'appareil ou risquer de le détériorer). Si la lecture est trop peu précise ou indique une valeur presque nulle, on change de calibre et on choisit celui qui est immédiatement plus petit. Et ainsi de suite jusqu'à ce que la valeur lue soit d'une précision suffisante.
- On se place sur une position correspondant au sigle **DC** ou = si la mesure concerne un courant continu.
- On se place sur une position correspondant au sigle **AC** ou  $\sim$  si la mesure concerne un courant alternatif.

# Générateurs et récepteurs

## I. Conventions

Dessinez un générateur (dipôle  $D_1$ ) alimentant une résistance  $R$  (dipôle  $D_2$ ).



Fléchez le courant sortant du générateur ainsi que la tension à ses bornes.

Que remarquez-vous sur l'orientation des flèches de tension et de courant ?

Pour le générateur la flèche tension est ..... que la flèche courant : c'est la **convention générateur**.

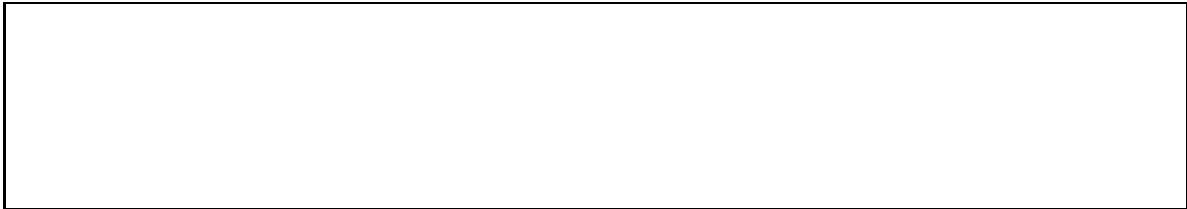
Pour la résistance la flèche courant et la flèche tension sont ..... : c'est la **convention récepteur**.

## II. Les récepteurs

Les récepteurs les plus usuels sont :

- .....
- .....
- .....
- ...

Donnez le symbole de ces 3 récepteurs.



### A. Résistor

#### 1. Loi d'Ohm

D'après la loi d'Ohm on a : .....

Dans quelle convention obtient-t'on cette relation ?

.....

Rappelez le symbole d'un résistor et fléchez la tension et le courant dans cette convention.

Tracez la caractéristique  $U = f(I)$  ( $U$  en fonction de  $I$  c'est à dire  $U$  en ordonnées et  $I$  en abscisses)

Que devient la loi d'Ohm si on change de convention ?

.....

$R$  est la résistance du conducteur ohmique.

On définit aussi la conductance  $G$  : .....

La conductance s'exprime en siemens ( $S$ ) ou en mho ( $\Omega$ ).

## 2. Étude d'un rhéostat

Donnez le schéma d'un rhéostat.

La borne  $C$  est appelée le curseur du rhéostat.

On veut obtenir à l'aide d'un rhéostat une résistance variable. Quelles bornes doit-on brancher ?

.....

Comment varie la résistance entre ces deux bornes lorsque l'on éloigne le curseur ?

.....

Remarque : si on augmente la section du fil la résistance diminue ( $R$  est proportionnelle à  $\frac{1}{S}$ )

À partir de ces remarques donnez une relation entre

- la résistivité  $\rho$  du fil (en  $\Omega \cdot m$ )
- la longueur  $l$  du fil (en  $m$ )
- la section  $S$  du fil (en  $m^2$ )

.....

## B. Association de conducteur ohmiques

### 1. En série

$$R_{\text{série}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Démontrez ceci au dos.

### 2. En dérivation

$$\frac{1}{R_{\text{parallèle}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Démontrez ceci au dos.

## C. Autres récepteurs linéaires

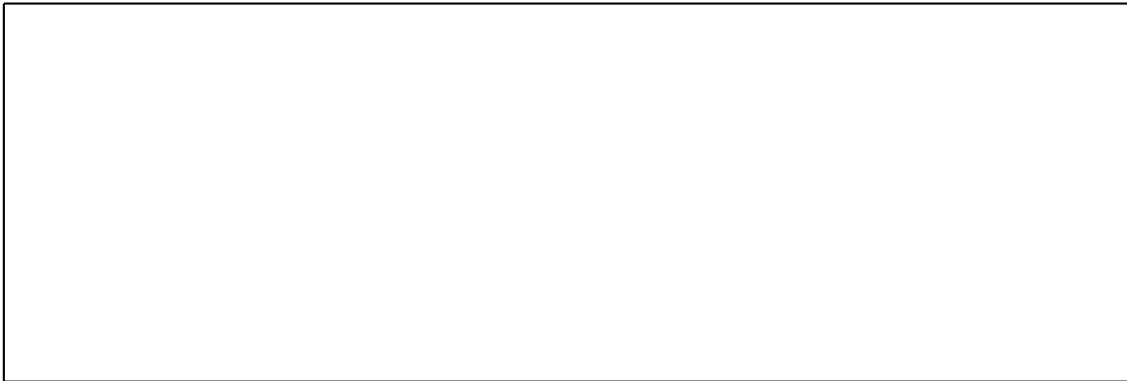
On étudie en convention récepteur un électrolyseur (ou un moteur).

La relation entre  $U$  et  $I$  est donnée par la loi d'Ohm qui dans ce cas s'énonce :

$$U = E' + r'I$$

- $U$  est la tension aux bornes du récepteur (en V)
- $I$  est le courant traversant le récepteur (en A)
- $E'$  est la force contre électromotrice (fcem) (en V)
- $r'$  est la résistance interne (en  $\Omega$ )

Tracez sa caractéristique  $I - U$  ( $U$  en fonction de  $I$ )



On réalisera cette expérience en séance de travaux pratiques.

### III. Les générateurs

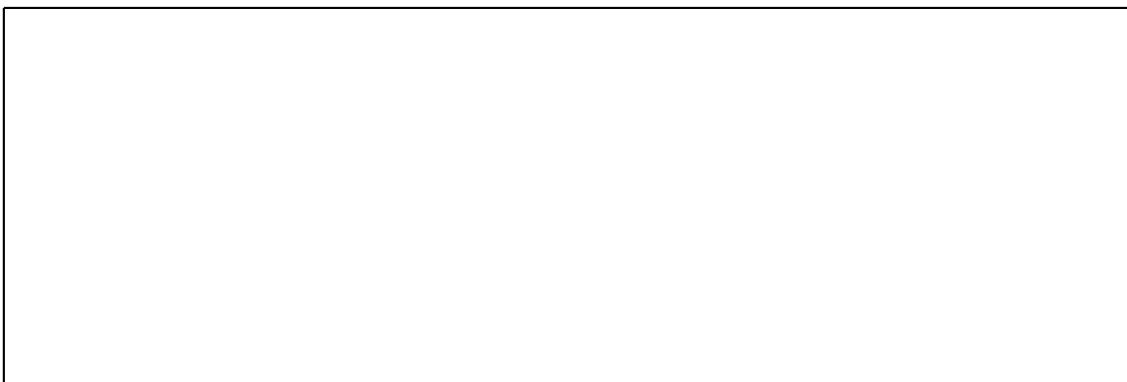
Il existe deux types de générateurs :

- .....
- .....
- .....

#### A. Générateurs idéaux de tension

Un générateur idéal de tension fournit à ses bornes une tension constante quelque soit le courant qu'il doit fournir.

Dessinez son symbole et tracez sa caractéristique.

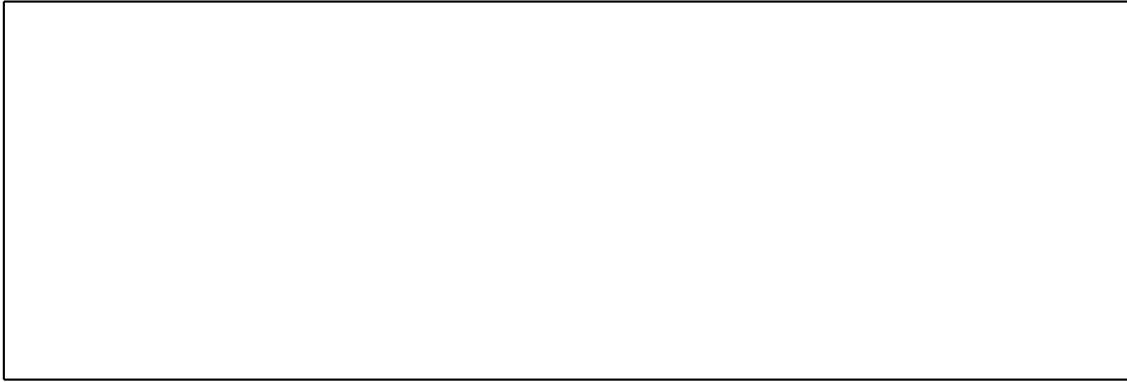


Un tel générateur à une résistance interne nulle (ce qui justifie d'ailleurs son symbole avec un fil connecté au reste du circuit).

#### B. Générateurs idéaux de courant

Un générateur idéal de courant délivre un courant constant quelque soit la tension qu'il doit fournir.

Dessinez son symbole et tracez sa caractéristique.



Un tel générateur à une résistance interne infini (ce qui justifie d'ailleurs son symbole avec un fil déconnecté du reste du circuit).

### C. Générateurs réels

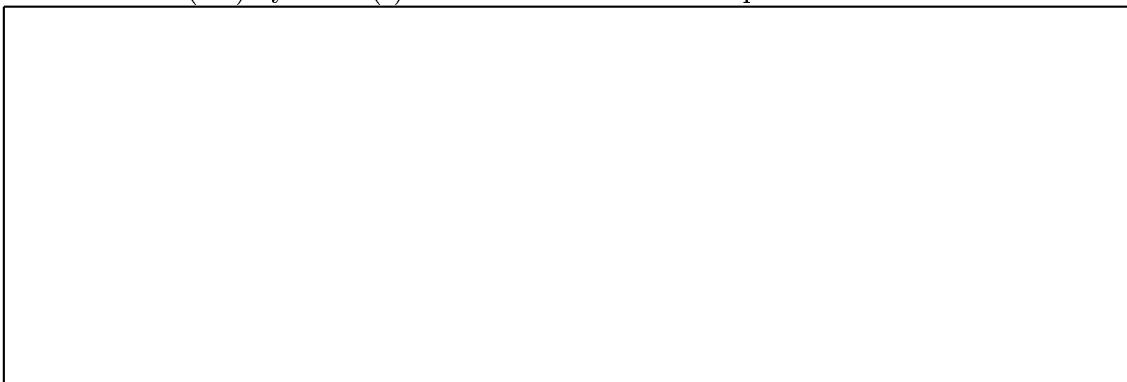
Un générateur réel comporte des fils dont la résistance entraîne des chutes de tension non négligeable.

La tension aux bornes d'un générateur est donc de la forme :

$$U = E - rI$$

- $U$  est la tension aux bornes du générateur (en  $V$ )
- $I$  est le courant délivré par le générateur (en  $A$ )
- $E$  est la force électromotrice ou tension à vide du générateur (en  $V$ )
- $r$  est la résistance interne (en  $\Omega$ )

Dessinez son (ses) symbole(s) et tracez sa caractéristique.



## IV. Puissance et énergie

### A. Puissance et convention

À chaque instant la puissance instantanée  $p(t)$  fournit par un générateur (étudié en convention générateur) délivrant un courant  $i(t)$  sous une tension  $u(t)$  vaut :

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

- $p$  : puissance instantanée en watt ( $W$ )
- $u$  : tension ( $V$ )
- $i$  : courant ( $A$ )

**Remarque** : notez qu'une grandeur dépendant du temps est en minuscule.

En courant continu  $u(t) = U = \text{constante}$  et  $i(t) = I = \text{constante}$  donc  $P = U \cdot I$

**Remarque** : en majuscule car c'est indépendant du temps

Avec la convention générateur,

- si  $ui > 0$ , le dipôle est .....

- si  $ui < 0$ , le dipôle est .....

Avec la convention générateur,

- si  $ui > 0$ , le dipôle est .....
- si  $ui < 0$ , le dipôle est .....

## B. Puissance et énergie

Un générateur délivre un courant  $I$  sous une tension  $U$ ,  
il fournit donc une puissance .....

Remarque : le watt ( $W$ ) est l'unité légale de puissance mais on exprime aussi la puissance en cheval 1 ch = 736 W)

Lorsqu'il fonctionne pendant un temps  $\Delta t$ ,  
il fournit une énergie .....

## C. Puissance dissipée dans un conducteur ohmique

Dans un résistor, la puissance dissipée vaut :

.....

ou

.....

Cette dissipation de puissance porte le nom d' .....

## D. Rendement d'un générateur

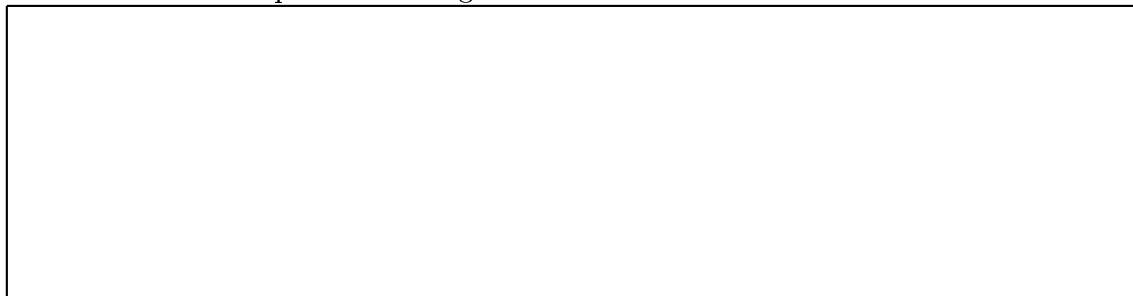
Pour un générateur (une pile par exemple) on a  $U = E - rI$ .

En multipliant par  $I$  on a : .....

Soit .....

Le générateur fournit au circuit la puissance ..... : c'est la puissance utile.  
Le générateur fournit à l'environnement sous forme de pertes thermiques la puissance .....

Ces puissances résultent de la puissance chimique stockée par la pile .....  
Dessinez l'arbre de puissance du générateur.



On appelle rendement et on note  $\eta$  le rapport de la puissance utile sur la puissance absorbée par un convertisseur

$$\eta = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance absorbée}}$$

Pour un générateur

la puissance utile c'est : .....  
la puissance absorbée vaut : .....  
donc le rendement vaut : .....

### E. Rendement d'un récepteur linéaire

Pour un récepteur linéaire (moteur ou électrolyseur) on a  $U = E' + r'I$ .

En multipliant par  $I$  on a : .....

Soit .....

Le récepteur reçoit la puissance ..... : c'est la puissance .....

Il fournit à l'environnement sous forme de pertes thermiques la puissance .....

Il transforme la puissance absorbée en puissance .....

#### 1. Électrolyseur

Dans le cas d'un électrolyseur, la puissance électrique reçue est transformée en puissance chimique qui permet l'obtention aux électrodes de dioxygène ( $O_2$ ) et de dihydrogène ( $H_2$ )

Dessinez l'arbre de puissance de l'électrolyseur.

Le rendement de l'électrolyseur est donc : .....

#### 2. Moteur

Dans le cas d'un moteur la puissance  $E'I$  est la somme de la puissance mécanique utile et de la puissance perdue par d'autres phénomènes que l'effet Joule (frottements mécaniques par exemple)

Dessinez l'arbre de puissance du moteur.



# TP : Caractéristique d'une pile

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

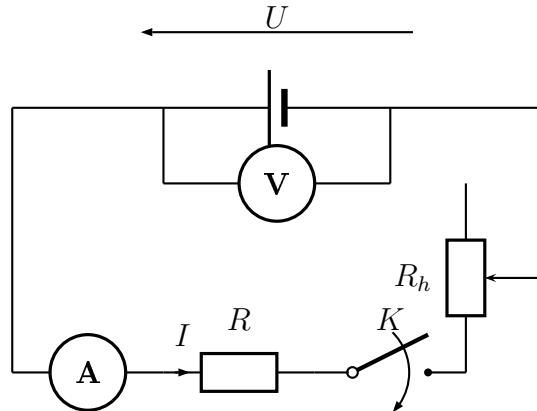
## Objectifs

- Tracer la caractéristique  $U = f(I)$  d'une pile.
- Déterminer sa force électromotrice  $E$  et sa résistance interne  $r$

## Matériel

- pile 1,5 V
- 2 multimètres
- 1 interrupteur  $K$
- 1 rhéostat  $R_h \leq 100 \Omega$
- 1 résistance de protection  $R = 10 \Omega$

## I. Montage



## II. Manipulations

1. Préciser les bornes des appareils de mesure puis réaliser le montage et demander au professeur de le vérifier avant mise sous tension.
2. Ouvrir l'interrupteur  $K$ . Mesurer  $U$ .
3. Placer le rhéostat sur sa plus grande valeur  $R_{h\max}$  (plus grande longueur de conducteur). Fermer l'interrupteur  $K$ . Mesurer  $U$  et  $I$ . Renouveler ces 2 mesures pour des valeurs plus élevées de  $I$  en diminuant  $R_h$  (en diminuant la longueur de conducteur dans le rhéostat).

$I$ (mA)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$U$ (V)									

## III. Résultats

1. Tracer la caractéristique  $U = f(I)$  de la pile.
2. On obtient une droite décroissante ne passant pas par l'origine (fonction affine)  
On vérifie la **loi d'Ohm pour un générateur**  $[U = E - rI]$ .

$E$  est .....

$r$  est .....

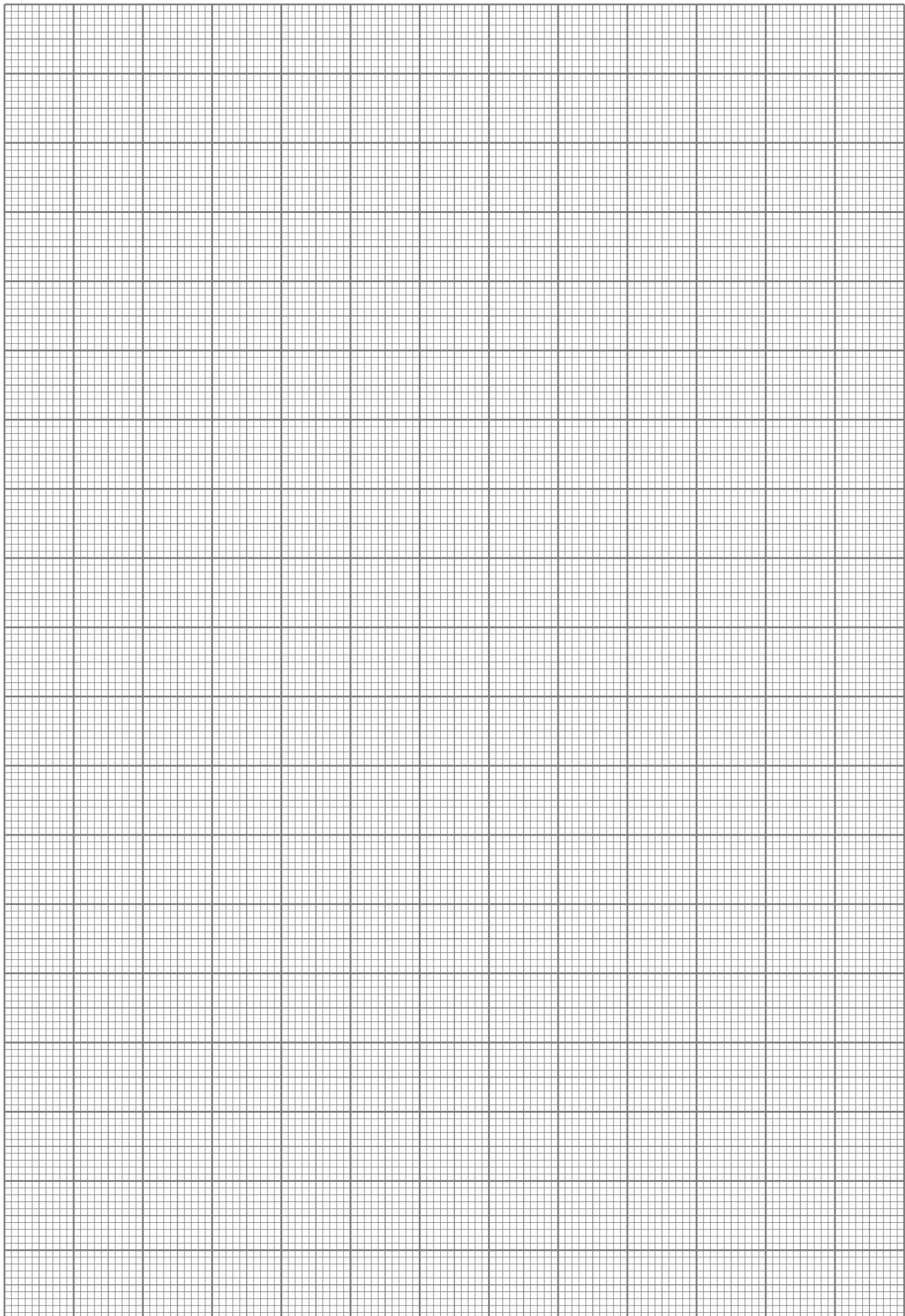
Lorsque  $I = 0$  A,  $U = \dots$  : c'est la ....., notée

en abrégé ..... Elle vaut  $E = \dots$  V

Déterminer le coefficient directeur de la droite :

.....

En déduire la résistance interne de la pile :  $r = \dots$   $\Omega$



# TP : Étude d'un électrolyseur

Caractéristique d'un récepteur électrique

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

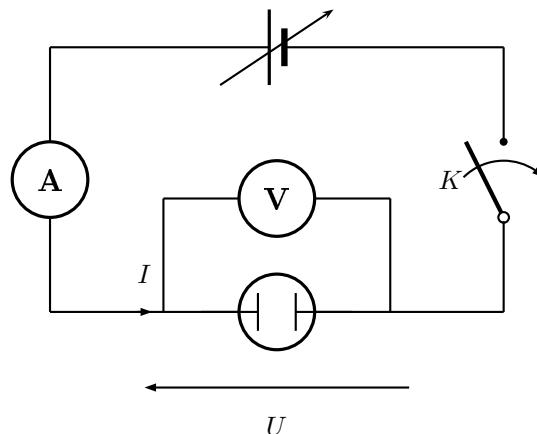
## Objectifs

- Tracer la caractéristique  $U = f(I)$  d'un récepteur électrique (un électrolyseur par exemple).
- Déterminer sa force contre électromotrice  $E'$  et sa résistance interne  $r'$

## Matériel

- 1 générateur de tension continue variable 0-30 V limiteur de courant 0,5 A
- 1 électrolyseur
- 1 solution d'acide sulfurique  $2H^+ + SO_4^{2-}$  à  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$
- 2 multimètres
- 1 interrupteur
- 2 tubes à essai
- des gants de protection

## I. Montage



## II. Manipulations

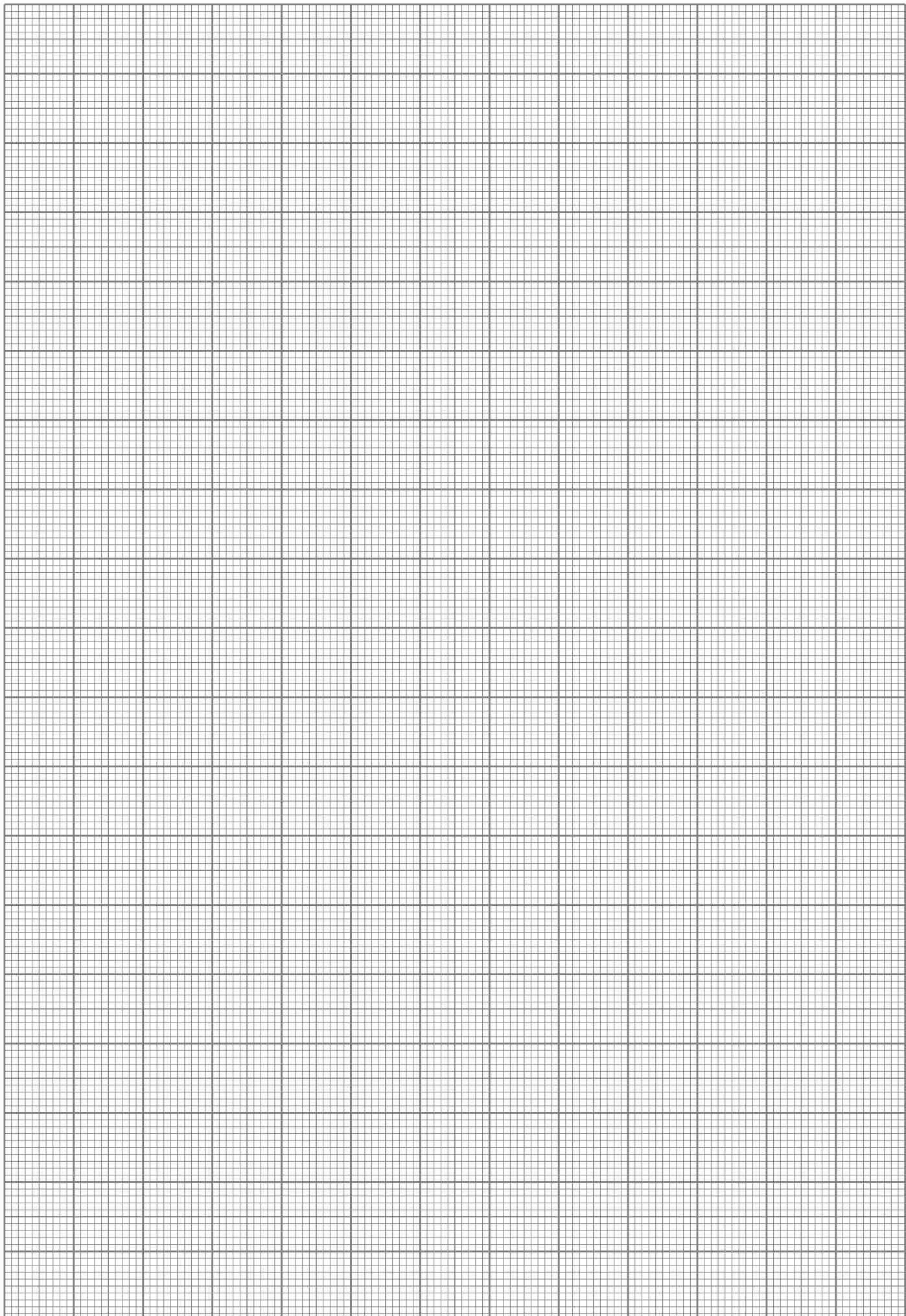
1. Réaliser le circuit électrique.
2. Mettre les gants et remplir *avec précaution* la cuve de l'électrolyseur avec la solution électrolytique *légèrement* au dessus de niveau des électrodes.
3. Remplir 2 tubes à essai et les retourner au dessus des 2 électrodes.
4. Appliquer une tension  $U$  proche de 0 V et relever la valeur  $I$  de l'intensité du courant électrique traversant l'électrolyseur.
5. Renouveler la mesure pour  $U$  variant de 0 V jusqu'à  $U = 9$  V par pas de 1 V et compléter le tableau ci-dessous.

## III. Mesures

$U$ (V)									
$I$ (...)									

## IV. Représentation graphique et conclusions

1. Tracer la caractéristique  $U = f(I)$ .
2. Modéliser la partie linéaire de la caractéristique de l'électrolyseur.
3. Déduire la résistance interne  $r'$  de l'électrolyseur ainsi que sa force contre électromotrice  $E'$ .
4. Donner le schéma équivalent de l'électrolyseur.
5. L'électrode reliée à la borne + est appelée l'anode. L'électrode reliée à la borne - est appelée la cathode. Au dessus d'une des électrodes le gaz occupe 2 fois plus de volume qu'au dessus de l'autre. Indiquer sur quelle électrode le dégagement gazeux est le plus important. De quel gaz s'agit-il ? Comment le mettre en évidence ?
6. Indiquer quel gaz est recueilli au dessus de l'autre électrode. Comment le mettre en évidence ?



# Optique géométrique



# Les bases de l'optique géométrique

## I. La propagation de la lumière

### A. Notion de rayon lumineux

On considère qu'un faisceau lumineux est constitué d'un ensemble de rayons lumineux indépendants les uns des autres.

Dans un milieu transparent homogène (indice de réfraction identique en tout point du milieu considéré), la lumière se propage en ligne droite.

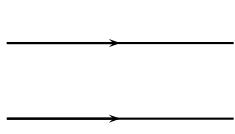


FIG. 1 – Faisceau parallèle

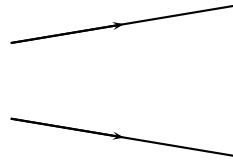


FIG. 2 – Faisceau divergent

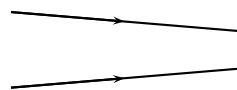


FIG. 3 – Faisceau convergent

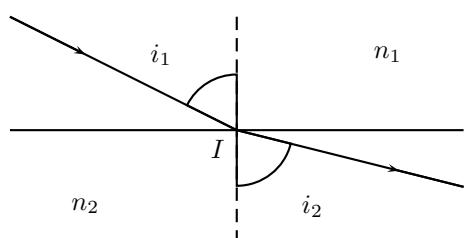
**Remarque :** On a représenté ici que les 2 rayons lumineux limitant le faisceau ; c'est ce qui est généralement fait.

**Question :** Peut-on voir un rayon lumineux ?

## B. Réfraction

La réfraction se produit lorsque la lumière aborde la surface de séparation (appelée ..... ) de 2 milieux transparents homogènes.

milieu transparent d'indice de réfraction  $n_1$



milieu transparent d'indice de réfraction  $n_2$

FIG. 4 – Surface de séparation polie entre deux milieux d'indice différent

### 1. 1<sup>re</sup> loi de Snell-Descartes sur la réfraction

Le rayon réfracté est contenu dans le plan d'incidence (plan contenant le rayon incident et la normale à la surface de séparation en  $I$ ).

### 2. 2<sup>e</sup> loi de Snell-Descartes sur la réfraction

L'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$  vérifient la relation :

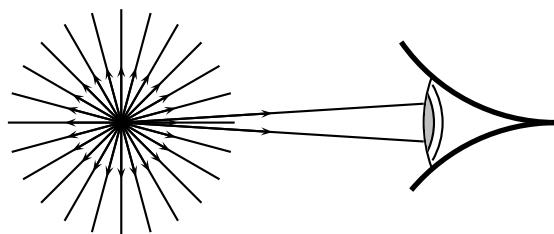
$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

**Remarque 1 :** il y a une réflexion partielle à la surface de séparation.

**Remarque 2 :** si  $n_2 > n_1$  (exemple  $n_{verre} = 1,5$  et  $n_{air} = 1$ ) alors  $\sin i_2 < \sin i_1$  soit  $i_2 < i_1$ .

## II. Les objets visibles par l'oeil

### A. Les objets lumineux



Les objets lumineux ..... de la lumière.

On ne voit l'objet que si de la lumière émise par l'objet pénètre par la pupille de l'oeil.

Si l'objet lumineux ponctuel est très éloigné (on dit à l'infini), le faisceau pénétrant dans la pupille est parallèle.

Un objet lumineux étendu est considéré comme la juxtaposition d'objets lumineux ponctuels.

FIG. 5 – Objet lumineux ponctuel

### B. Les objets éclairés

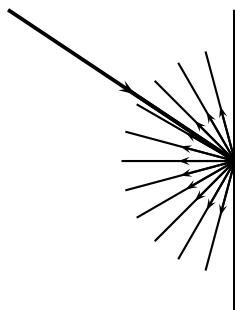


FIG. 6 – Surface opaque non polie

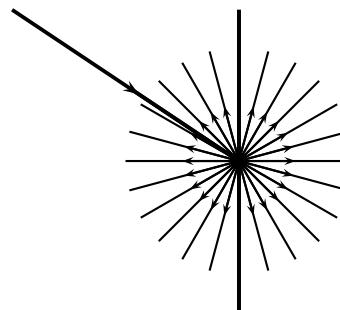


FIG. 7 – Surface translucide

Les objets éclairés ..... la lumière qu'ils reçoivent.

Chaque point de la surface se comporte comme un objet lumineux ponctuel.

La surface se comporte comme un objet lumineux étendu.

## III. La vision de l'oeil

### A. Exemple

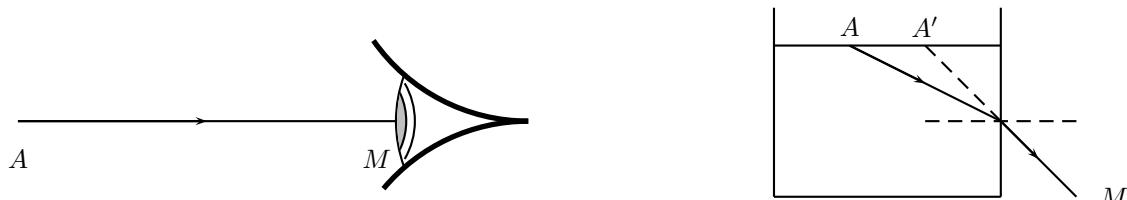


FIG. 8 – Objet ponctuel situé dans l'air puis dans l'eau

La pupille de l'oeil est considérée comme réduite au point M.

### B. Interprétation

Le cerveau est conditionné par la propagation rectiligne de la lumière et localise un objet dans la direction du rayon qui pénètre par la pupille.

On ne peut voir le point objet A que si la lumière ne change pas de direction ; sinon, on voit A', appelé le point image de A (ceci constitue une illusion d'optique).

# Miroir plan

## Introduction

Un *miroir* est une surface opaque polie ; contrairement à une surface opaque non polie, elle réfléchit la lumière au lieu de la diffuser.

## I. Expérience des deux bougies

### Matériel

- miroir semi-réflechissant (vitre)
- papier A3, règle graduée, stylo
- 2 bougies



Il suffit de décaler légèrement l'une des bougies pour que la supercherie apparaisse.

Sur une table, dressons une vitre de faible épaisseur en position rigoureusement verticale. De part et d'autre, en position symétrique par rapport au plan de la vitre, disposons deux bougies de même taille et allumons la bougie située du côté de l'observateur. La seconde bougie paraît allumée tout au moins tant qu'elle est observée au travers de la vitre.

L'image de la flamme donnée par la vitre se situe à l'endroit où se trouve la seconde bougie, c'est-à-dire derrière la vitre.



**Conclusion :**  $A'$  est le symétrique de  $A$  par rapport au plan du miroir.  
 $AB$  est l'objet (réel).  
 $A'B'$  est une image virtuelle : on ne peut pas l'observer directement sur un écran.

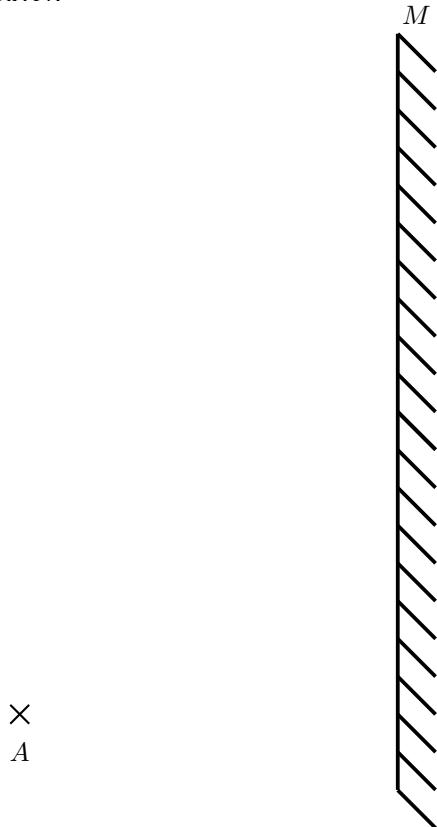
## II. Tracés

### A. Comment tracer le rayon issu d'un point et se réflechissant sur un miroir plan ?

Tracez un rayon lumineux issu de  $A$  et se réflechissant sur le miroir en utilisant les deux méthodes proposées.

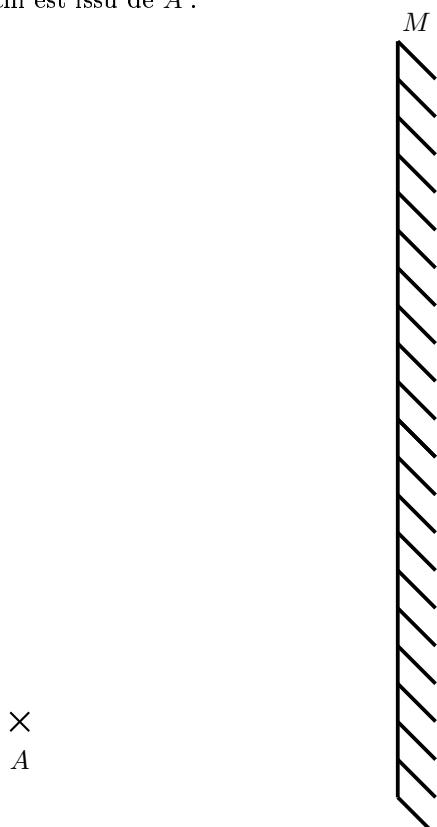
### 1. Méthode 1 : report d'angle - $i = r$

- Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale au miroir plan sont dans le même plan appelé plan d'incidence (ici le plan de la feuille). Ceci constitue la **1<sup>e</sup> loi de Snell-Descartes sur la réflexion**.
- L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.  $i = r$ . Ceci constitue la **2<sup>e</sup> loi de Snell-Descartes sur la réflexion**.



### 2. Méthode 2 : en utilisant le point image $A'$ - symétrie plane

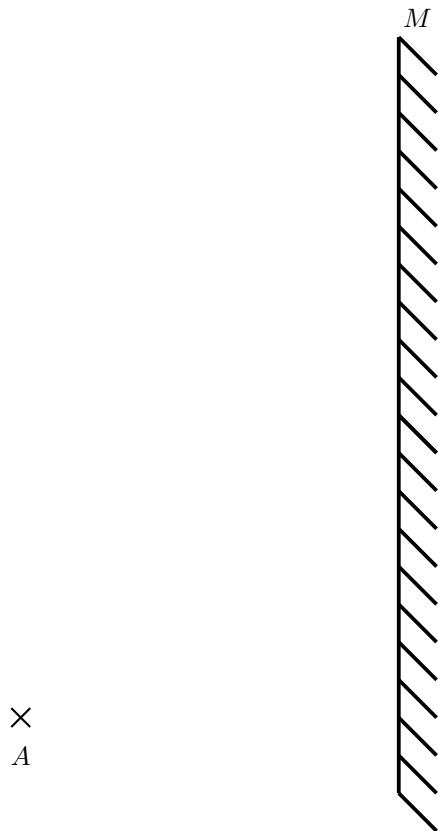
On trace par symétrie par rapport au plan du miroir l'image  $A'$  de l'objet  $A$ . Le rayon réfléchi est issu de  $A'$ .



**Remarque :** aucun rayon réel ne se coupe en  $A'$ ;  $A'$  est donc une image virtuelle.

**B. Faisceau réfléchi par un miroir**

Tracez un faisceau lumineux issu de  $A$  et se réfléchissant sur le miroir plan.



L'oeil ne verra  $A'$  que s'il est contenu dans le faisceau réfléchi.

**C. Champ d'un miroir plan**

Soit un observateur  $O$  regardant un miroir plan  $M$  de dimension finie.

On cherche l'ensemble des points  $A$  visible par l'observateur au travers le miroir.

$O$

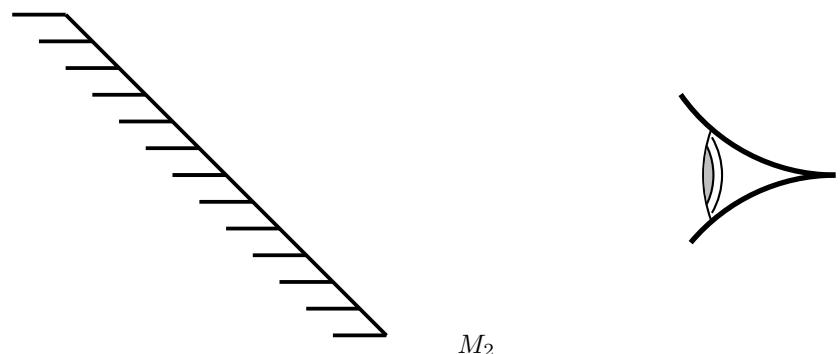
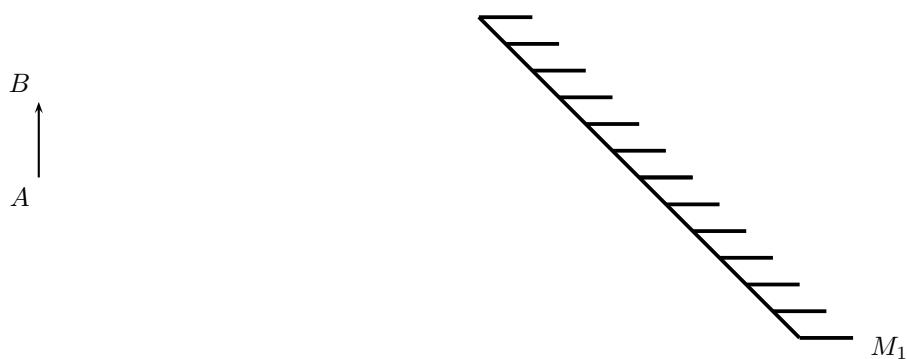
$\times$



### III. Applications

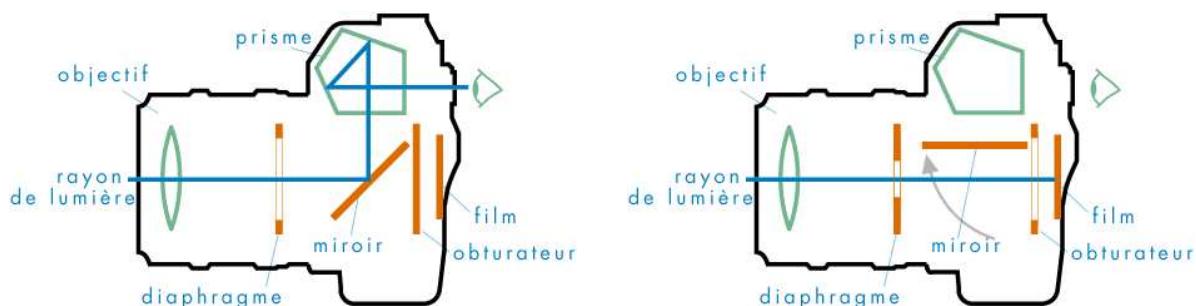
#### A. Périscope

Un périscope permet à un sous-marin d'observer à la surface de l'eau tout en étant immergé.



#### B. Appareil photo « réflex »

Certains appareils photos « réflex » disposent de deux miroirs plans parallèles (comme le périscope). Un miroir est fixe l'autre est mobile afin d'amener les rayons lumineux tantôt dans l'oeil de l'observateur tantôt sur la pellicule photographique.

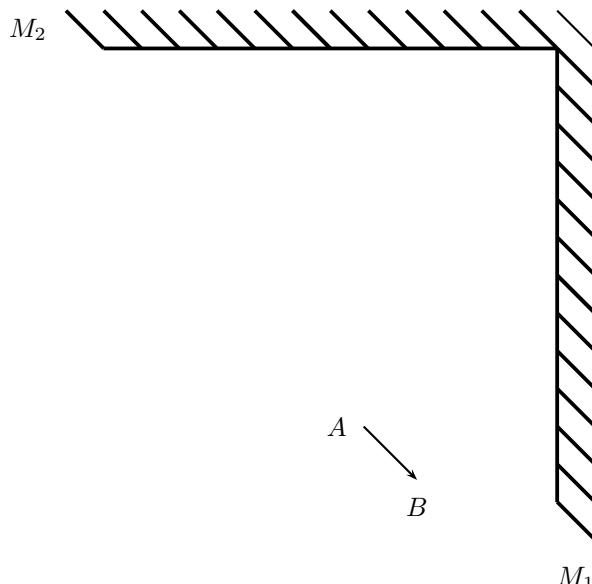


Mais on utilise plutôt un prisme (dans ce cas ça n'est plus de réflexion sur un miroir dont il est question mais de réfraction par un prisme réfringent et réflexion totale à l'intérieur du prisme)

### C. Miroirs orthogonaux

Soit deux miroirs faisant un angle de  $90^\circ$  entre eux.

- Faites l'image de l'objet  $AB$  au travers le miroir 1 puis au travers le miroir 2.
- Faites le tracé de deux rayons lumineux provenant de  $A$  et se réfléchissant sur les deux miroirs.
- Faites le tracé de deux rayons lumineux provenant de  $B$  et se réfléchissant sur les deux miroirs.
- Conclusion.



$$\begin{aligned}
 AB &\xrightarrow{M_1} A'_1 B'_1 \\
 AB &\xrightarrow{M_2} A'_2 B'_2 \\
 AB &\xrightarrow{M_1} A'_1 B'_1 \xrightarrow{M_2} A'_3 B'_3 \\
 AB &\xrightarrow{M_2} A'_2 B'_2 \xrightarrow{M_1} A'_4 B'_4 = A'_3 B'_3
 \end{aligned}$$

**Remarque :** après 2 réflexions le rayon réfléchi repart avec la même direction mais dans le sens opposé.

## IV. Relation de conjugaison et grandissement

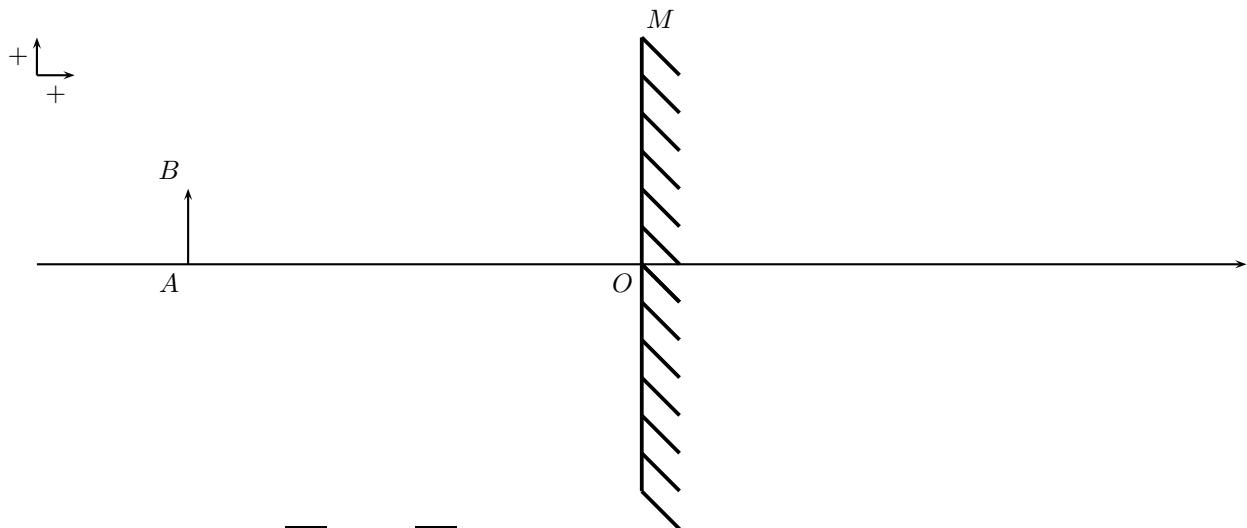
### A. Conventions de signe

En optique géométrique, une mesure algébrique est une longueur affectée d'un signe, ce qui permet d'en orienter le sens sur un axe donné.

Ainsi, alors que la longueur d'un segment est toujours positive, on peut utiliser une mesure algébrique de ce segment, qui sera égale à sa longueur si on la prend dans un sens, et à l'opposé de sa longueur si on la prend dans l'autre.

On note  $\overline{AB}$  la mesure algébrique du segment  $[AB]$ .

Conventionnellement, on choisit le sens de propagation de la lumière comme sens d'orientation positif.



**Remarque :** ici,  $\overline{OA} < 0$  et  $\overline{AO} > 0$

Tracez un faisceau provenant de  $B$  et se réfléchissant sur le miroir plan.

Trouvez la position de  $A$ . Comment s'appelle cette propriété du miroir plan qui vous a permis de trouver la position de  $A$ ? C'est ..... : un objet perpendiculaire à l'axe du miroir plan a une image elle-même perpendiculaire à l'axe miroir plan.

### B. Relation de conjugaison

Une **relation de conjugaison** est une relation qui donne la position de l'image en fonction de la position de l'objet et des caractéristiques du système optique.

Une relation de conjugaison est toujours écrite de manière **algébrique**, c'est à dire avec des longueurs qui peuvent être positives ou négatives.

**Exemple :**

$OA = 10 \text{ cm}$  mais  $\overline{OA} = -10 \text{ cm}$

ici

- $\overline{OA} < 0$  et  $\overline{OA'} > 0$

- $\overline{AB} > 0$  et  $\overline{A'B'} > 0$

$AO = OA'$  devient, avec la convention de signe  $\overline{AO} = \overline{OA'}$  soit  $-\overline{OA} = \overline{OA'}$

On obtient alors la relation de conjugaison pour un miroir plan

$$\overline{OA'} + \overline{OA} = 0$$

### C. Grandissement

Le grandissement  $\gamma$  permet de déterminer la taille et le sens de l'image.

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Le grandissement  $\gamma$  peut être positif ou négatif,

Pour un miroir plan, le grandissement  $\gamma$  vaut :

$$\gamma = 1$$

car  $\overline{AB} = \overline{A'B'} = \overline{OO_2}$

# Les lentilles minces

## I. Qu'est-ce qu'une lentille ?

### A. Définition

Les instruments optiques : loupe, verres de lunettes, objectif photographique, microscope, lunette astronomique s'obtiennent par association de lentilles.

Une lentille mince est un milieu transparent (verre, plexiglas, eau) limité par 2 calottes sphériques ou une calotte sphérique et 1 plan.

### B. Les différents types de lentilles

#### 1. Lentilles à bords minces



FIG. 1 – Biconvexe



FIG. 2 – Plan convexe



FIG. 3 – Ménisque convergent

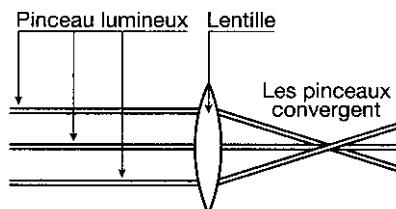


FIG. 4 – Les pinceaux lumineux sortent de la lentille en *convergeant* vers un point commun.

#### 2. Lentilles à bords épais



FIG. 5 – Biconcave



FIG. 6 – Plan concave



FIG. 7 – Ménisque divergent

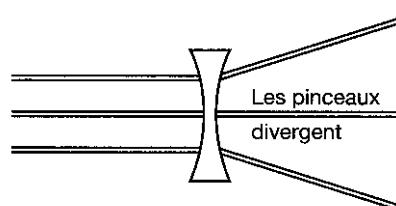


FIG. 8 – Les pinceaux lumineux sortent de la lentille en *divergeant*.

## C. Caractéristiques des lentilles minces

### 1. L'approximation de la lentille *mince*

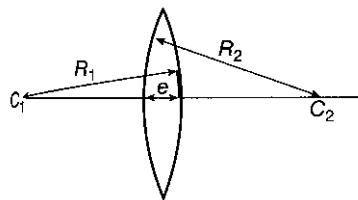


FIG. 9 – Dimensions d'une lentille

On nomme  $R_1$  et  $R_2$  les rayons des calottes sphériques et  $e$  l'épaisseur de la lentille.

La lentille peut être considérée comme ***mince*** si  $e \ll R$  (en général, on dit que c'est le cas lorsque  $e < \frac{R}{10}$ ).

Nous nous limiterons à l'étude des lentilles minces, car celle des lentilles épaisses est beaucoup trop complexe.

### 2. L'axe optique $\Delta$

L'axe optique d'une lentille (généralement noté  $\Delta$ ) est l'axe de symétrie (symétrie de révolution) de la lentille. Il passe par  $C_1$  et  $C_2$ .

### 3. Schématisation

Les lentilles se schématisent de la façon suivante :

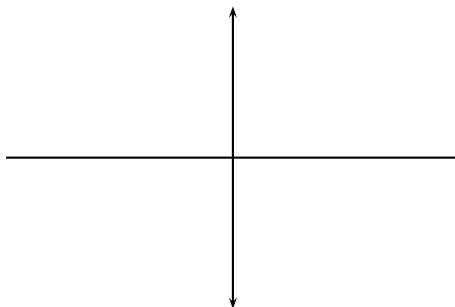


FIG. 10 – Lentille .....

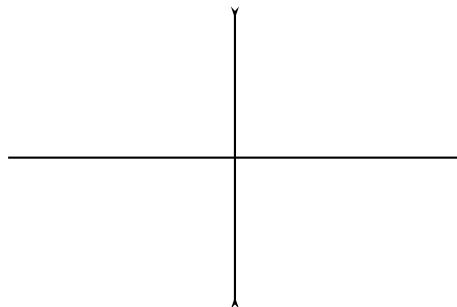
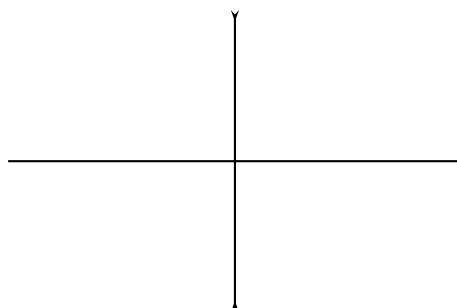
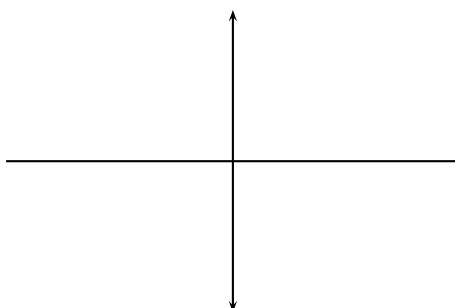


FIG. 11 – Lentille .....

## D. Le centre optique $O$

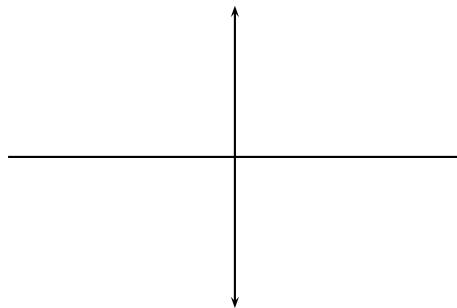
Le centre optique est le point d'intersection de la lentille mince avec l'axe optique.

Un rayon lumineux qui passe par le centre optique d'une lentille mince n'est pas dévié.



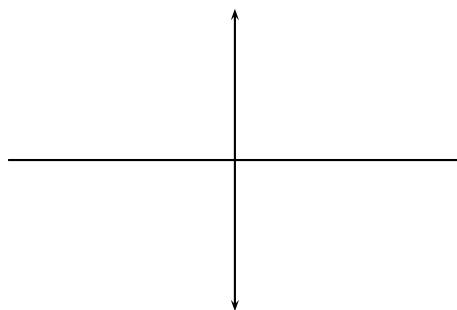
## II. Les lentilles convergentes

### A. Le foyer image $F'$



Tout rayon incident parallèle à l'axe optique de la lentille sort en passant par un point particulier appelé foyer image  $F'$ .

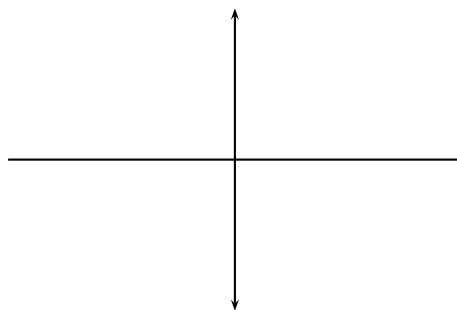
### B. Le foyer objet $F$



Tout rayon passant par un point particulier appelé foyer objet  $F$ , sort de la lentille parallèlement à l'axe optique.

**Remarque :** Le foyer objet  $F$  et le foyer image  $F'$  sont symétriques par rapport au centre optique  $O$  de la lentille.

### C. La distance focale $f'$



La valeur algébrique  $\overline{OF'}$  (longueur orientée suivant la convention donnée dans le schéma) représente la distance focale de la lentille.

$$\boxed{\overline{OF'} = f' > 0 \text{ pour une lentille convergente}}$$

- $f'$  en mètre

### D. Les plans focaux

Le **plan focal image** est le plan passant par  $F'$  perpendiculaire à l'axe optique.  
Le **plan focal objet** est le plan passant par  $F$  perpendiculaire à l'axe optique.

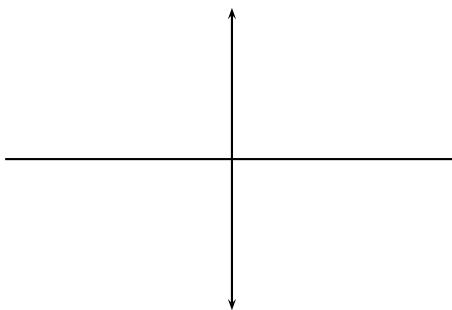
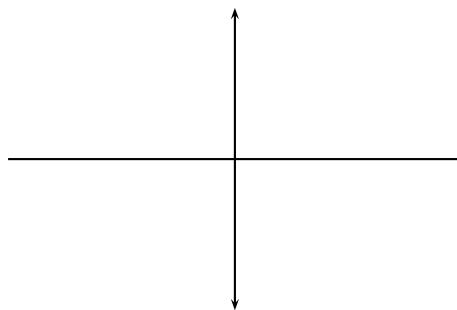


FIG. 12 – Plan focal image

FIG. 13 – Plan focal objet

## E. La vergence

Les opticiens utilisent la **vergence** (notée  $C$ ) pour caractériser les lentilles.  
La vergence est l'inverse de la distance focale  $f'$  :

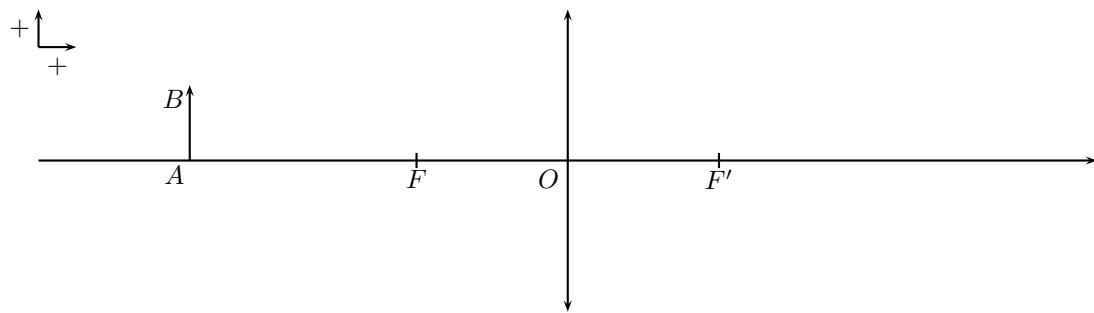
$$C = \frac{1}{OF'} = \frac{1}{f'}$$

- $C$  en dioptrie ( $\delta$ )
- $f'$  en mètre

Pour une lentille convergente  $C > 0$ .

## F. Images données par une lentille convergente

### 1. Projection d'une image sur un écran



**Nature :** L'objet est ..... L'image est .....

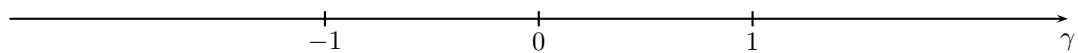
**Sens de l'image :** ..... **Taille de l'image :** .....

**Position de l'image :** on peut trouver la position de l'image connaissant la position de l'objet et la distance focale de la lentille à l'aide d'une **formule de conjugaison** (voir paragraphe « Relations de conjugaisons »)

**Grandissement :** le grandissement  $\gamma$  de l'image est le rapport de la taille de l'image sur la taille de l'objet. C'est une grandeur **algébrique**.

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

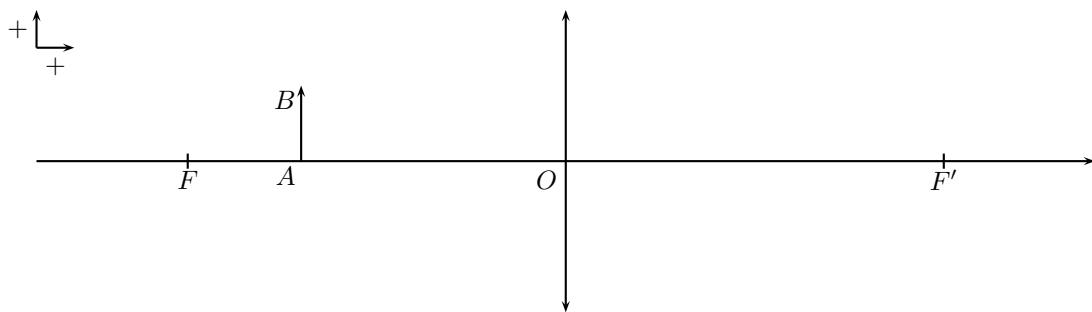
sens de l'image



taille de l'image

## 2. Observer une image à l'aide d'une loupe

On place l'objet entre le centre optique  $O$  et le foyer objet  $F$ .



**Nature :** L'objet est ..... L'image est .....

**Sens de l'image :** ..... **Taille de l'image :** .....

**Grossissement d'une loupe :** L'impression de grandeur est liée non pas à la dimension absolue de l'objet regardé mais à son diamètre apparent (angle sous lequel il est vu). C'est pourquoi pour les instruments oculaires où le récepteur est l'oeil, on définit le **grossissement**  $G$  qui caractérise numériquement le bénéfice tiré par l'oeil.

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

- $\alpha'$  : angle sous lequel on voit l'image donnée par la loupe.
- $\alpha$  : angle sous lequel on voit l'objet à l'oeil nu et dans les meilleures conditions donc à la distance minimale de vision distincte  $d_m$ .

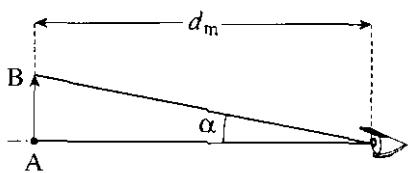


FIG. 14 – L'oeil voit  $AB$  dans les meilleures conditions sous un angle  $\alpha$ .

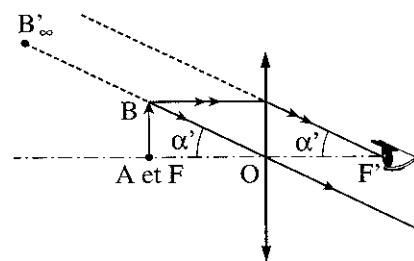


FIG. 15 – Observation de  $A'B'$  quand l'oeil n'accorde pas.

$G$  dépend des caractéristiques de l'oeil et de la loupe. Pour comparer sans ambiguïté deux loupes, on définit le **grossissement commercial**  $G_c$

- On choisit  $d_m = 25 \text{ cm}$
- On suppose que l'oeil est placé au foyer image  $F'$  de la loupe.
- On suppose que l'oeil **n'accorde pas**, ce qui revient à placer l'objet dans le plan focal objet de la loupe.
- Dans ces conditions, les angles sont petits et exprimés en radians :

$$\tan(\alpha) \approx \alpha \approx \frac{AB}{0,25} = 4AB$$

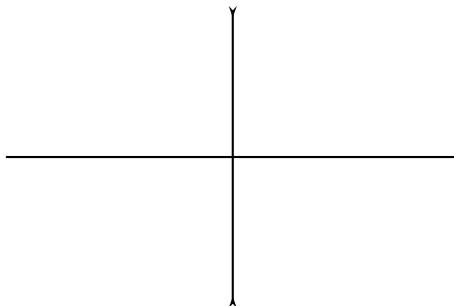
$$\tan(\alpha') \approx \frac{AB}{f'}$$

$$G_c = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{1}{4f'} = \frac{C}{4}$$

Un grossissement commercial inférieur à 1 n'a pas d'intérêt, la vergence  $C$  de la lentille convergente utilisée doit donc être supérieure à 4  $\delta$ .

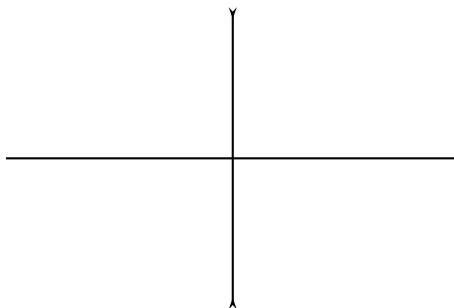
### III. Les lentilles divergentes

#### A. Le foyer image $F'$



Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en semblant provenir d'un point particulier : le foyer image  $F'$ .

#### B. Le foyer objet $F$



Tout rayon lumineux incident, arrivant sur la lentille divergente en semblant passer par le foyer objet  $F$  sort de la lentille, parallèlement à l'axe optique.

#### C. La distance focale $f'$

La valeur algébrique  $\overline{OF'}$  (longueur orientée suivant la convention donnée dans le schéma) représente la distance focale de la lentille.

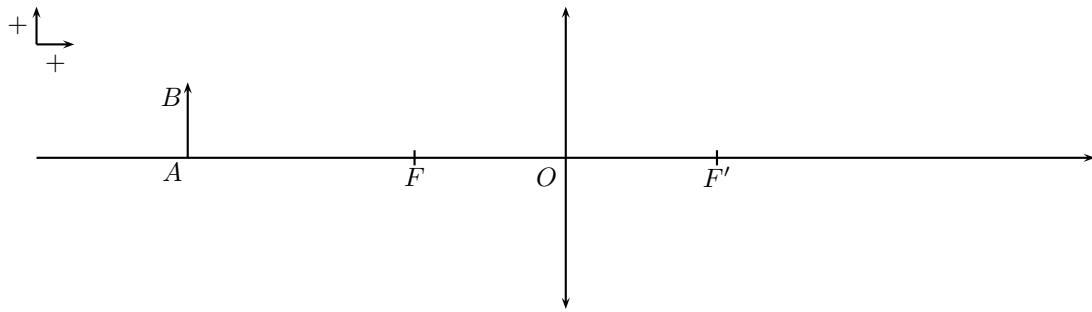
$$\overline{OF'} = f' < 0 \text{ pour une lentille divergente}$$

- $f'$  en mètre

#### D. La vergence

Pour une lentille divergente  $C < 0$ .

## Relations de grandissement



### A. Définition

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

### B. Relations

$$\overline{AB} = \overline{OI}$$

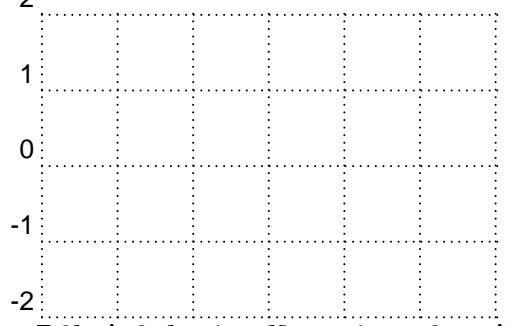
$$\overline{A'B'} = \overline{OJ}$$

**1<sub>2</sub>** Relation de grandissement avec origine au centre *O*



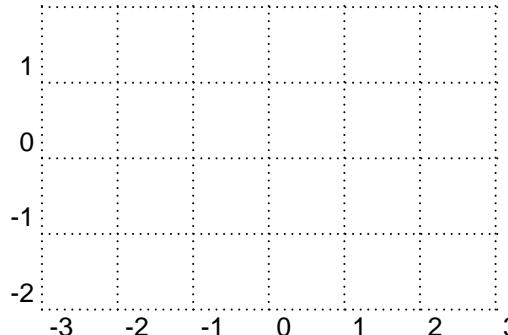
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = +\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

**2<sub>2</sub>** Relation de grandissement avec origine au foyer objet *F*



$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{OF}}{\overline{FA}}$$

**3<sub>2</sub>** Relation de grandissement avec origine au foyer image *F'*



$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$$

## Relations de conjugaison

### A. Formule de Newton (origine aux foyers)

On utilise les deux relations de grandissement avec origine aux foyers (objet et image) :  $-\frac{\overline{OF}}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$ .  
On multiplie par  $-1$ , on a alors  $\frac{\overline{OF}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$

$$\boxed{\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = \overline{OF} \cdot \overline{OF'}}$$

Cette formule, nommée aussi **formule de Newton** se note également :  $x \cdot x' = ff'$ .  
Or comme pour une lentille mince on a  $\overline{OF} = -\overline{OF'}$  soit  $f = -f'$  on peut alors écrire :

$$\boxed{x \cdot x' = -f'^2}$$

### B. Formule de Descartes (origine au centre)

On utilise la relation de grandissement avec origine au centre et celle avec origine au foyer image.

$$+\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$$

Soit en mettant en ligne :  $\overline{OA'} \cdot \overline{OF'} = -\overline{F'A'} \cdot \overline{OA}$

Or  $\overline{F'A'} = \overline{F'O} + \overline{OA'} = \overline{OA'} - \overline{OF'}$ .

Il vient alors  $\overline{OA'} \cdot \overline{OF'} = -(\overline{OA'} - \overline{OF'}) \cdot \overline{OA}$ .

En développant, on obtient :  $\overline{OA'} \cdot \overline{OF'} = -\overline{OA'} \cdot \overline{OA} + \overline{OF'} \cdot \overline{OA}$

Soit aussi :  $\overline{OF'} \cdot \overline{OA} - \overline{OA'} \cdot \overline{OF'} = \overline{OA'} \cdot \overline{OA}$

On divise alors par  $\overline{OA} \cdot \overline{OA'} \cdot \overline{OF'}$  et on obtient :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}}$$

Cette formule, nommée également **Relation de Descartes**, se note aussi :

$$\boxed{\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}}$$

## Résumé

$\overline{OF} = f$	distance focale objet
$\overline{OF'} = f'$	distance focale image
$\overline{OA} = p$	distance objet-lentille
$\overline{OA'} = p'$	distance image-lentille
$\overline{FA} = x$	distance foyer objet - objet
$\overline{F'A'} = x'$	distance foyer image - image

### Relation de Descartes

$$\boxed{\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}}$$

### Formule de Newton

$$\boxed{x \cdot x' = -f'^2}$$

### Grandissement

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{p'}{p} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}}$$

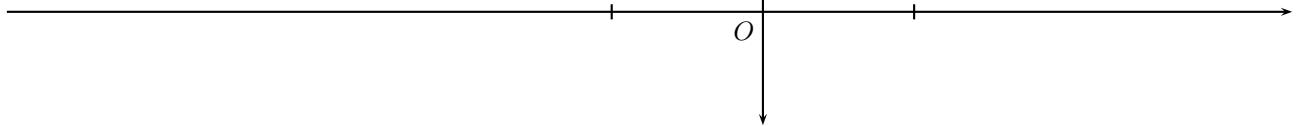
## Constructions géométriques pour les lentilles minces convergentes

$$f' = \overline{OF'} > 0$$

### Cas 1

objet réel

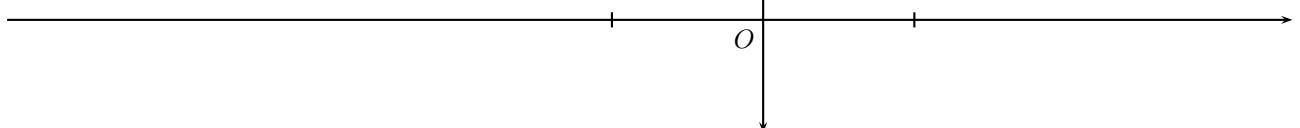
$$\overline{OA} \in ]-\infty; 2f[$$



### Cas 2

objet réel

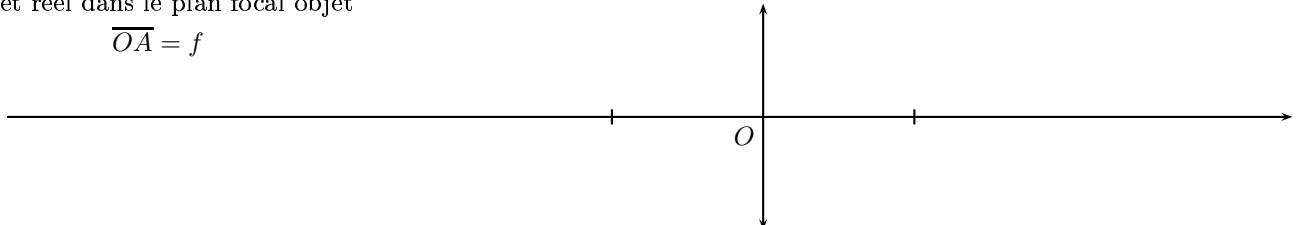
$$\overline{OA} \in ]2f; f[$$



### Cas 3

objet réel dans le plan focal objet

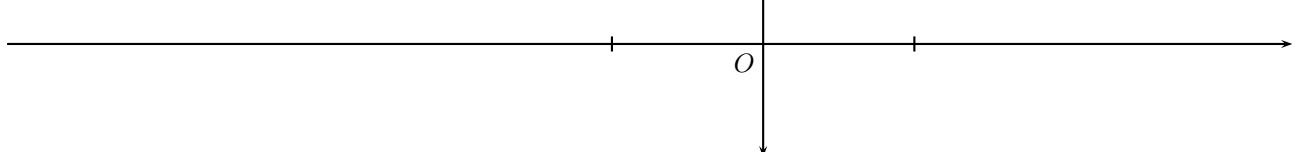
$$\overline{OA} = f$$



### Cas 4

objet réel entre le plan focal objet et la lentille

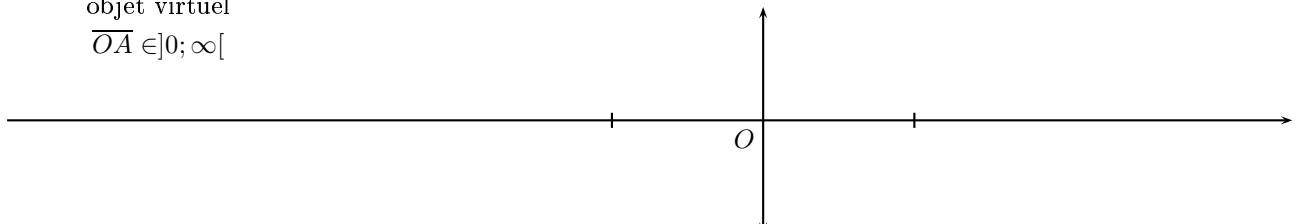
$$\overline{OA} \in ]f; 0[$$



### Cas 5

objet virtuel

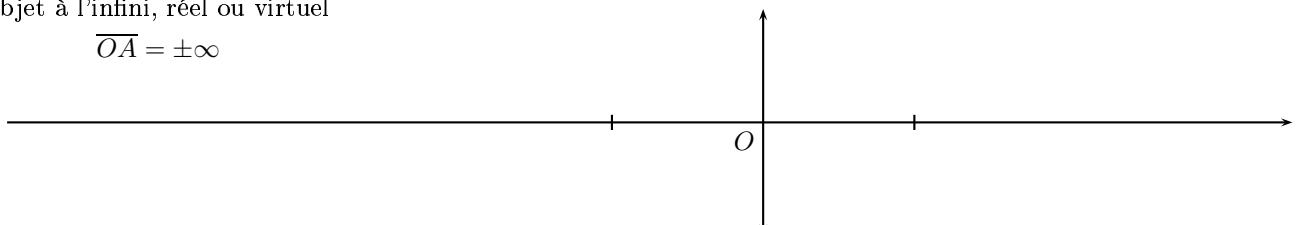
$$\overline{OA} \in ]0; \infty[$$



### Cas 6

objet à l'infini, réel ou virtuel

$$\overline{OA} = \pm\infty$$



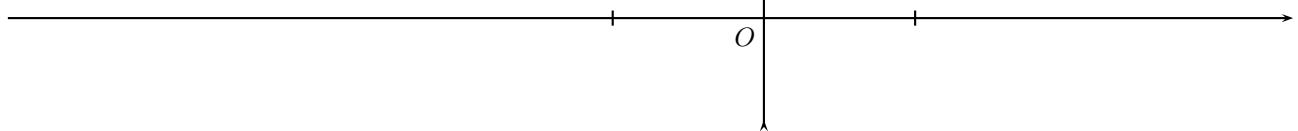
## Constructions géométriques pour les lentilles minces divergentes

$$f' = \overline{OF'} < 0$$

### Cas 1

objet réel

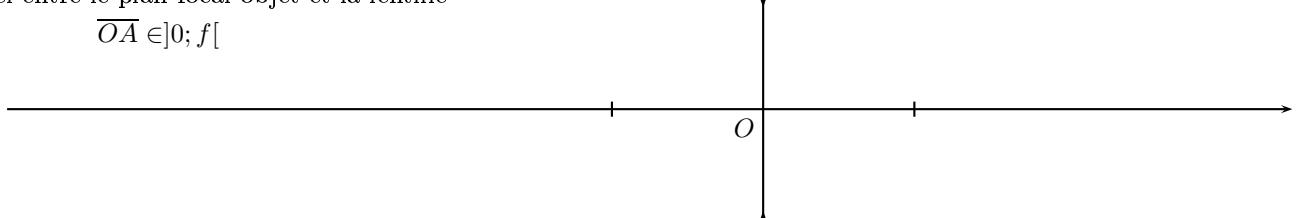
$$\overline{OA} \in ]-\infty; 0[$$



### Cas 2

objet virtuel entre le plan focal objet et la lentille

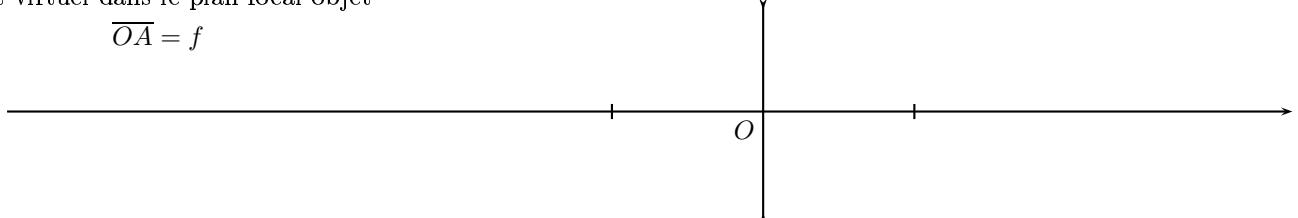
$$\overline{OA} \in ]0; f[$$



### Cas 3

objet virtuel dans le plan focal objet

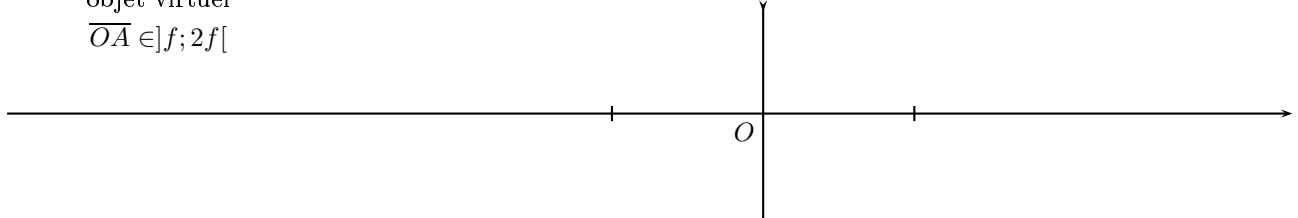
$$\overline{OA} = f$$



### Cas 4

objet virtuel

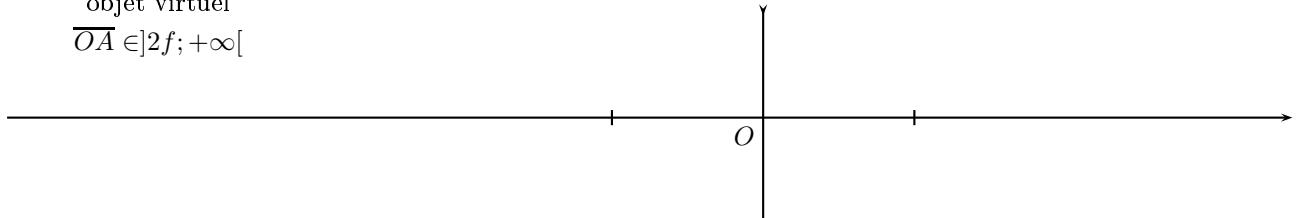
$$\overline{OA} \in ]f; 2f[$$



### Cas 5

objet virtuel

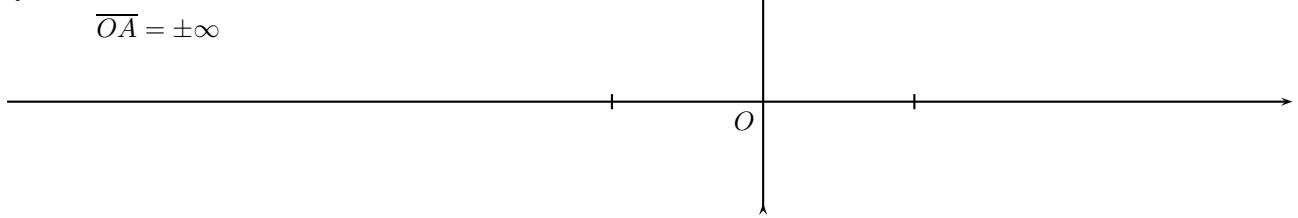
$$\overline{OA} \in ]2f; +\infty[$$



### Cas 6

objet à l'infini, réel ou virtuel

$$\overline{OA} = \pm\infty$$



# TP : Relations de conjugaison des lentilles minces

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Objectifs

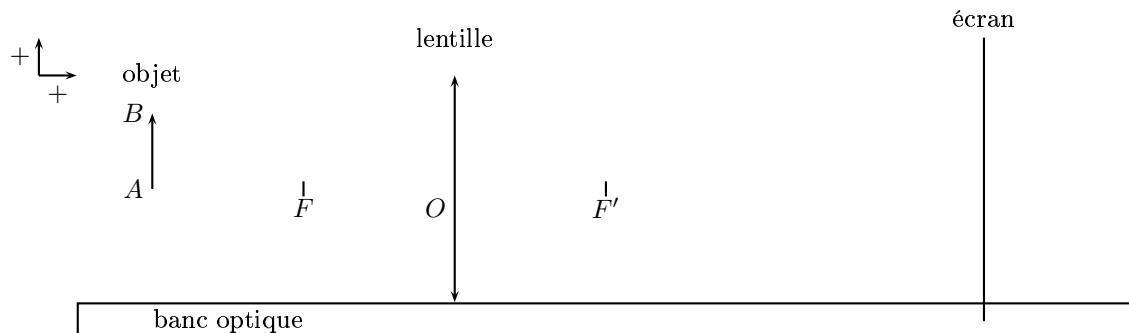
- Établir les relations de conjugaison des lentilles minces.
- Établir les relations de grandissement des lentilles minces.

## Matériel

- Banc optique
- Objet lumineux (lanterne avec lettre F)
- Écran millimétré.
- Lentille mince convergente de vergence  $V = \dots$

## I. Montage optique

Utilisons un banc d'optique, un objet  $AB$  bien éclairé, une lentille convergente de vergence  $V$  connue et un écran muni d'une feuille de papier millimétré.



1. Représenter sur le schéma ci-dessus l'axe optique.
2. Tracer trois rayons optiques particuliers permettant de déterminer la position de l'image  $A'B'$ .
3. Que faut-il faire pour obtenir une image nette ?

## II. Questions préliminaires

1. Quel est le signe de  $V$  ?
2. Quel est le signe de  $f' = \overline{OF'}$  ?
3. Quel est le signe de  $f = \overline{OF}$  ?
4. Quel est le signe de  $p = \overline{OA}$  ?
5. Quel est le signe de  $p' = \overline{OA'}$  ?
6. Indiquer en  $m$  puis en  $cm$  la distance focale image  $f'$  de la lentille.
7. Indiquer en  $m$  puis en  $cm$  la distance focale objet  $f$  de la lentille

## III. Mesures

1. Mesurer la hauteur  $\overline{AB}$  de l'objet.
2. Pour plusieurs positions différentes de l'objet par rapport à la lentille, mesurer :
  - (a) la distance  $\overline{OA'}$  séparant l'image de la lentille.
  - (b) la hauteur  $\overline{A'B'}$  de l'image.

3. Reporter les mesures dans le tableau suivant.

Position	$\overline{OA}$ (m)	$\overline{OA'}$ (m)	$\frac{1}{\overline{OA}}$ ( $m^{-1}$ )	$\frac{1}{\overline{OA'}}$ ( $m^{-1}$ )	$\frac{1}{\overline{OF'}}$ ( $m^{-1}$ )	$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$	$\overline{A'B'}$ (m)	$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$
1	-0.15							
2	-0.20							
3	-0.25							
4	-0.30							
5	-0.40							
6	-0.50							

4. Dans tout les cas, on a placé l'objet tel que  $\overline{OA} < f$ . Expliquer pourquoi. Vérifier expérimentalement ce qui se passe lorsque l'on ne respecte pas cette condition.

## IV. Interprétation

- Faire la construction graphique pour différentes positions.  
Indiquer dans chaque cas les caractéristiques de l'image.
- Calculer  $\frac{1}{\overline{OA'}}$ ,  $\frac{1}{\overline{OA}}$  et  $\frac{1}{\overline{OF'}}$  et noter les valeurs dans le tableau.
- Réaliser une représentation graphique de  $y = \frac{1}{\overline{OA'}}$  en fonction de  $x = \frac{1}{\overline{OA}}$ .
- Pour chaque position, calculer le rapport  $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$  et le comparer au rapport  $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ .
- Quelle relation la représentation graphique permet-elle d'établir ? Prolonger la courbe jusqu'à l'axe des ordonnées. Que représente ce point ? Comparer son ordonnée à la vergence  $V$  de la lentille.
- Établir une relation entre  $\frac{1}{\overline{OA'}}$ ,  $\frac{1}{\overline{OA}}$  et  $\frac{1}{\overline{OF'}}$ .
- À l'aide de ces résultats, décrire une méthode de mesure de la distance focale image d'une lentille de vergence  $V$  inconnue.
- D'après votre tableau de mesure, quelle grandeur est égale au grandissement  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ .

# TP : Focométrie des lentilles minces

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Objectifs

- Déterminer la distance focale d'une lentille mince

## Matériel

- Banc optique avec objet (lanterne) et écran millimétré.
- Lentilles minces

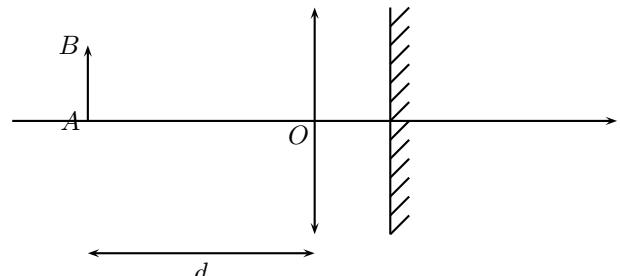
## I. Focométrie des lentilles minces convergentes

### A. Autocollimation

- Placer sur un banc d'optique un objet lumineux et la lentille à étudier.
- Placer dans un plan parallèle à celui de la lentille un miroir plan (la distance entre le miroir et la lentille n'a pas d'influence).
- Déplacer l'ensemble { miroir + lentille } de telle sorte qu'à la distance  $d$  entre la lentille et l'objet on a une image nette de l'objet sur lui-même (image nette mais inversée).

On a alors :

$$d = f'$$

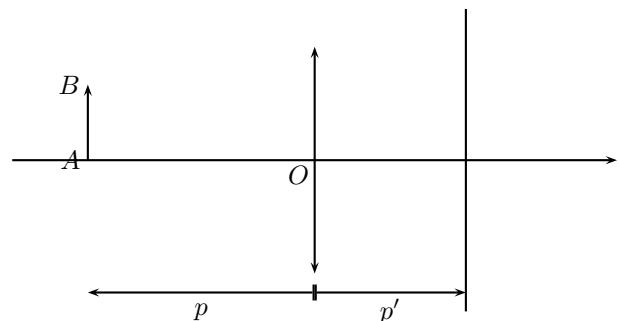


### B. Utilisation de la relation de Descartes

D'après la relation de Descartes, on a :

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$$

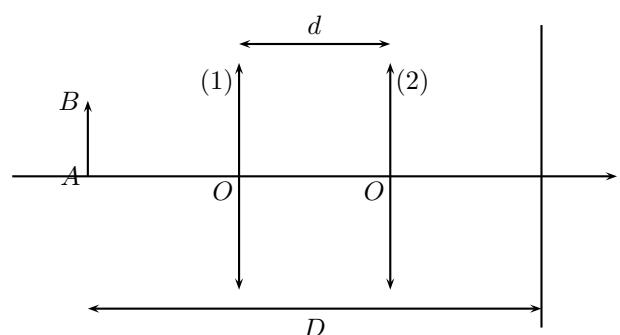
- Faire pour plusieurs positions de l'objet, l'image nette sur l'écran.
- Mesurer pour ces différentes positions  $p$  et  $p'$ .
- Tracer  $\frac{1}{p'}$  en fonction de  $\frac{1}{p}$ .
- Déduire de ce tracé la distance focale image  $f'$ .



### C. Méthode de Bessel

Cette méthode ne s'applique qu'aux lentilles convergentes.

- Placer sur un banc d'optique un objet lumineux et un écran situé à la distance  $D$  de la source.
- Vérifier qu'il existe deux positions de la lentille qui permettent d'obtenir une image nette de l'objet sur l'écran. Ces deux positions sont séparées par la distance  $d$ .



- Notations :
  - $D$  : distance objet-image
  - $d$  : distance entre les deux positions de lentille donnant une image nette sur l'écran
- Démontrez en utilisant les formules de conjugaison que la distance focale de la lentille est égale à :

$$f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$$

Attention, il faut impérativement  $D > 4f'$ .

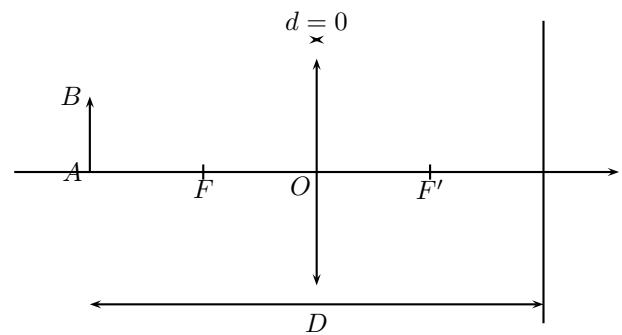
## D. Méthode de Silbermann

Cette méthode dérivée de la méthode de Bessel ne s'applique qu'aux lentilles convergentes.

- Placer sur un banc d'optique un objet lumineux et un écran situé à la distance  $D$  de la source.
- Vérifier qu'il existe deux positions de la lentille qui permettent d'obtenir une image nette de l'objet sur l'écran. Ces deux positions sont séparées par la distance  $d$ .
- Vérifier que lorsque l'on rapproche l'objet de l'écran (on diminue la valeur de  $D$ ), l'écart  $d$  entre les deux positions de lentille donnant une image nette sur l'écran diminue.
- Diminuer encore la valeur de  $D$ , jusqu'à ce que ces deux positions soient confondues ( $d = 0$ ). On peut remarquer qu'à ce moment le grandissement  $\gamma$  est égal à  $-1$ .

- Mesurer alors sur le banc d'optique la distance  $D$  objet-image et déduire la distance focale image de la lentille à l'aide de la relation :

$$f' = \frac{D}{4}$$



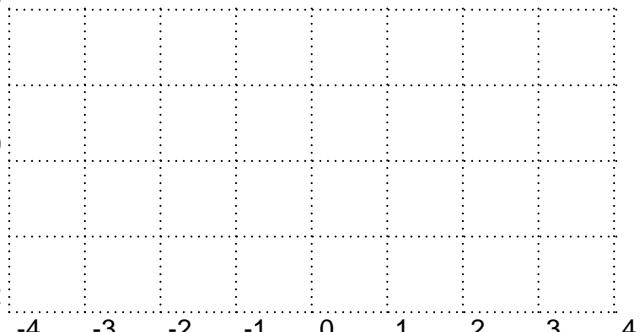
## E. Méthode de Badal

- Choisir deux lentilles convergentes  $L_1$  et  $L_2$  de vergences connues.
  - Réaliser l'image à l'infini de l'objet  $A$  placé sur le banc, par la première lentille.
  - Placer la deuxième lentille au-delà de la première, à une distance supérieure à sa propre distance focale.
  - Observer l'image de l'objet par l'ensemble se former dans le plan focal image de la deuxième lentille :  $A'$  en  $F'_2$ .
  - Placer la lentille de vergence  $V_x$  inconnue au foyer objet de la deuxième lentille, et chercher l'image réelle  $A''$  de l'objet dans le système optique ainsi constitué.
  - Mesurer le déplacement  $x = A'A''$  de l'image.
- On montre que :

$$f'_x = -\frac{f'^2}{x}$$

**Remarque :**  $x$  est positif pour une lentille divergente et négatif pour une lentille convergente.

On démontre cette relation en appliquant la relation de Newton  $\overline{FA} \cdot \overline{FA'} = \overline{OF} \cdot \overline{OF'} = -\overline{OF}^2$ .



## II. Focométrie des lentilles minces divergentes

### A. Formation d'un doublet accolé

1. Accoller à la lentille divergente de vergence  $V_1$  inconnue une lentille mince convergente de vergence  $V_2$  connue.

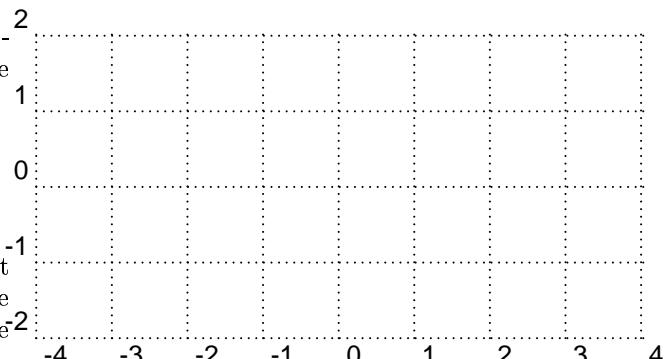
**Remarque :** on a choisi la lentille convergente à accoler de telle sorte que le système accolé de lentilles soit convergent.

La vergence de l'ensemble est :

$$V_{1+2} = V_1 + V_2$$

2. Utiliser une des méthodes vues précédemment pour déduire la vergence  $V_{1+2}$  de l'ensemble et, connaissant la vergence  $V_2$  de la lentille

convergente, déduire la vergence  $V_1$  de la lentille divergente.



### B. Méthode de Badal

La méthode de Badal est applicable aux lentilles divergentes dans ce cas  $x$  est positif.



# Électromagnétisme



# TP : Mesures de champs magnétiques avec un teslamètre

## Objectifs

- comprendre le fonctionnement d'un teslamètre
- mesurer le champ magnétique  $B$  créé par un solénoïde parcouru par un courant.

## Matériel

- teslamètre (et un tournevis pour faire le zéro)
- solénoïde
- alimentation stabilisée variable avec limiteur de courant maximum

## I. Présentation du protocole expérimental

### A. Dispositif expérimental

On désire mesurer le champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde (bobine longue). On utilise un *teslamètre* muni d'une *sonde à effet Hall*<sup>1</sup>. Cette sonde délivre une tension, proportionnelle à la norme du champ magnétique, qui est ensuite amplifiée par un système électronique. La lecture s'effectue soit directement en **Tesla** (calibre 20 mT), soit en mesurant la tension de Hall (notée  $U_H$ ) avec un voltmètre en position *DC* et en utilisant la correspondance suivante :  $2 \text{ mV} \iff 10^{-4} \text{ T}$  (calibre 0,5 T max).

### B. Utilisation du teslamètre

- Laisser chauffer l'appareil pendant 10 minutes environ.
- Régler le zéro (si les mesures durent longtemps il faut le réajuster avec un tournevis en  $B_x$ ).
- *Manipuler la sonde avec précaution.*

### C. Montage de mesure

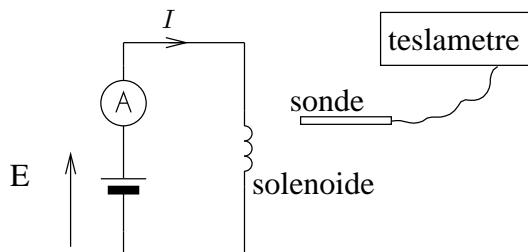


FIG. 1 – Dispositif expérimental

$E$  : alimentation stabilisée variable avec le bouton limitation du courant maximum (2,5 A).  
En jouant sur la tension  $E$ , on fixe l'intensité du courant  $I$ .

<sup>1</sup>Voir le principe d'une sonde à effet Hall en annexe

## II. Mesure du champ magnétique créé par le solénoïde

### A. Influence de la position de la sonde à l'intérieur du solénoïde

$N = 200$  spires et  $I = 2$  A.

- Faire varier  $d$  : distance de la sonde au centre du solénoïde.
- Relever  $U_H$  et en déduire  $B$ .
- Présenter les résultats expérimentaux sous forme de tableau en faisant varier  $d$  de 2 cm à chaque mesure.
- Tracer  $B = f(d)$ .
- Commenter l'allure obtenue.
- Conclure sur l'influence de  $d$  sur la valeur de  $B$ .

### B. Influence de l'intensité du courant et du nombre de spires

- Faire varier  $I$  de 0 à 2,5 A. (On utilisera le bouton de réglage fin de la tension d'alimentation).
- Relever  $U_H$  et en déduire  $B_0$  (mesuré au centre du solénoïde pour  $d = 0$  cm).
- Présenter 2 tableaux de mesures (1 pour  $N = 200$  spires et l'autre pour  $N = 400$  spires). On fera varier  $I$  de 0,5 A à chaque mesure.
- Tracer  $B_0 = f(I)$  pour les 2 cas sur le même système d'axes.
- Commenter l'allure obtenue. On pourra comparer la valeur expérimentale de la pente notée  $k$  pour les deux cas.

### C. Influence de la longueur du solénoïde

- $I = 2$  A. Faire varier la longueur  $l$  du solénoïde.
- Relever  $U_H$  et en déduire  $B_0$  au centre. **Attention, il faut à chaque fois éteindre l'alimentation avant chaque mesure et réajuster  $I$  à 2 A si nécessaire.**
- Présenter les résultats expérimentaux sous forme de tableau.
- Tracer  $B_0 = f(l)$ .
- Commenter l'allure obtenue.
- Conclure sur l'influence de  $l$  sur la valeur de  $B_0$ . On pourra calculer le rapport  $\frac{l}{D}$  en mesurant précisément la longueur totale  $l$  du solénoïde et son diamètre  $D$ .

## III. Exploitation des résultats

Proposer une méthode, à partir des mesures faites précédemment, pour vérifier expérimentalement la valeur théorique de  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  U.S.I..

### Annexe : Principe d'une sonde à effet Hall

# TP : Bobines de Helmholtz

## Objectifs

- Étudier les caractéristiques du champ créé par des bobines de Helmholtz
- Vérifier la proportionnalité entre l'intensité du courant et la valeur du champ magnétique créé par ce courant en un point

## Matériel

- bobines de Helmholtz
- teslamètre
- alimentation continue réglable
- interrupteur
- multimètre en fonction ampèremètre *DC*
- boussole

## I. Champ magnétique d'une bobine plate

- On utilise un dispositif comportant deux bobines plates identiques, parallèles et pouvant être alimentées en courant.
- Réaliser un circuit série avec une alimentation continue réglable, un interrupteur, un ampèremètre.
- Régler l'intensité du courant sur  $2\text{ A}$  (dans ces conditions, nous vérifierons que le champ magnétique terrestre est négligeable devant celui créé par la bobine).
- À l'aide de la boussole, explorer le champ créé par cette bobine.
- Tracer l'allure des lignes de champ de la bobine plate.

## II. Les bobines de Helmholtz

Le dispositif des bobines de Helmholtz comporte deux bobines identiques, parcourues par un courant de même intensité. La distance qui les sépare est égale à leur rayon.

Ce dispositif permet d'obtenir un champ uniforme entre les bobines. On choisira pour l'intensité du courant, une valeur comprise entre  $1\text{ A}$  et  $2\text{ A}$ .

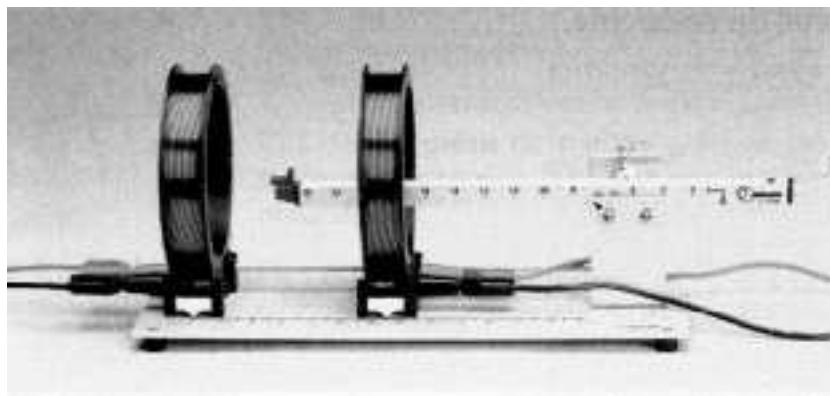


FIG. 1 – Bobines de Helmholtz

1. Les courants dans les deux bobine doivent-il être de même sens ou de sens contraire pour réaliser un champ uniforme ?
2. Comment peut-on vérifier rapidement, à l'aide de la boussole, que le champ obtenu est effectivement uniforme ?
3. Quelle est la direction de ce champ ?

### III. Relation entre l'intensité du courant et la valeur du champ

Le teslamètre permet de mesurer l'intensité  $B$  du champ magnétique  $\vec{B}$  créé par les bobines.

**Remarque :** avant utilisation régler le zéro du teslamètre. Le capteur doit être placé perpendiculairement au champ mesuré.

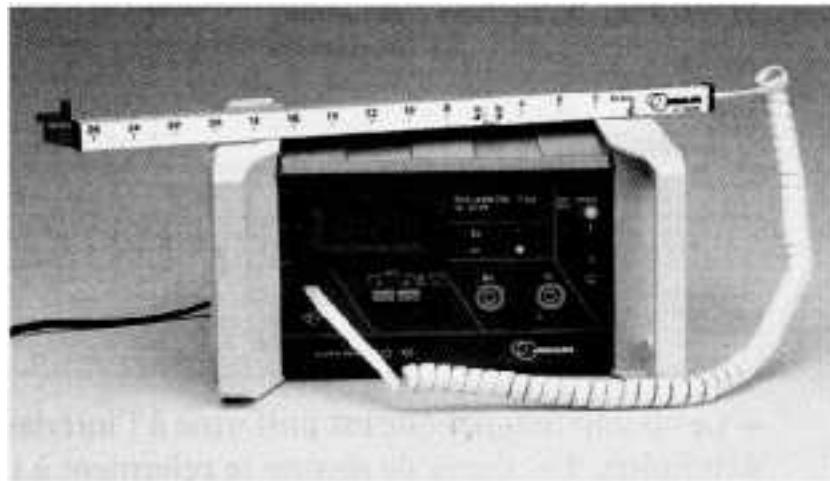


FIG. 2 – Teslamètre avec sonde à effet Hall

1. Proposer un protocole permettant de vérifier la proportionnalité entre l'intensité  $B$  de  $\vec{B}$  et l'intensité  $I$  du courant dans les bobines.
2. Déterminer la relation entre  $B$  et  $I$  pour les bobines utilisées.
3. Déterminer la valeur de l'intensité  $I$  pour laquelle l'intensité  $B$  de  $\vec{B}$  est égale à la composante horizontale du champ magnétique terrestre<sup>1</sup>.
4. Peut-on dire que, pendant cette activité expérimentale, le champ magnétique terrestre a toujours été négligeable devant celui des bobines utilisées ?

<sup>1</sup>En France, la composante horizontale du champ magnétique terrestre vaut environ  $2.10^{-5} T$

# TP : Force de Laplace

## Objectifs

- Mettre en évidence la force de Laplace.
- Dégager les relations entre direction et sens du courant, du champ magnétique et de la force de Laplace.

## Matériel

- pile plate 4,5 V
- ruban de papier aluminium de 2 – 3 mm de large et de 30 cm de long.
- 4 pinces crocodiles et 2 supports
- bouton poussoir
- aimant droit

## I. Dispositif expérimental

On utilise un ruban de papier d'aluminium ménager de 2 mm à 3 mm de large et de 30 cm de long (sa résistance est de l'ordre de quelques dixièmes d'ohm. Il pourra supporter, pendant quelques instants, un courant d'intensité élevée. Le circuit est constitué d'une pile de 1,5 V ou 4,5 V, du ruban d'aluminium et d'un bouton poussoir qui permet de ne pas laisser le circuit fermé trop longtemps. On fixe une partie du ruban horizontalement entre deux supports distants d'une douzaine de centimètre, de manière à ce qu'il soit légèrement rendu.

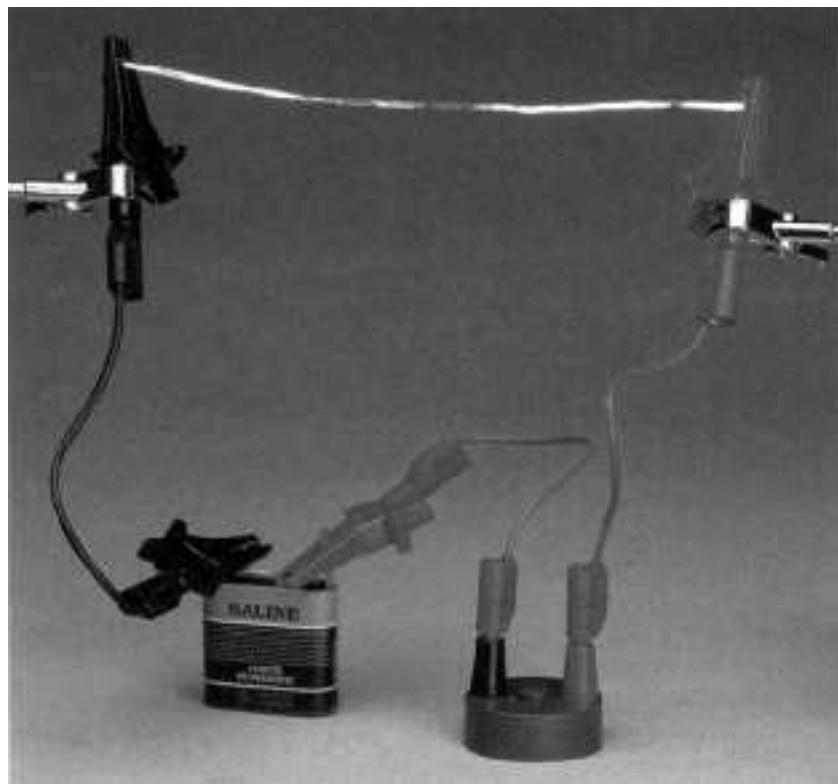


FIG. 1 – Dispositif expérimental

## II. Action d'un aimant sur un courant électrique

Placer un aimant droit près du ruban comme sur la figure 2.a. Observer ce qui se passe lorsque le circuit est ouvert, puis lorsqu'il est fermé.

Ne pas laisser le circuit fermé durant plus de quelques secondes nécessaires aux observations.

1. L'aluminium est-il un matériau ferromagnétique ?
2. À quelle condition l'aimant exerce-t-il une action sur le ruban ?

## III. Sens et direction de la force électromagnétique

1. Inverser le sens du courant dans le ruban, sans changer la position de l'aimant.  
Le sens du courant a-t-il une influence sur le sens de la force ? sur sa direction ?
2. Sans changer le sens du courant, intervertir les pôles de l'aimant en le laissant horizontal et perpendiculaire au ruban.
  - (a) Le ruban semble-t-il attié ou repoussé par l'un des pôles de l'aimant ?
  - (b) Quels sont, dans chaque cas, la direction et le sens du champ magnétique « vu » par la partie du ruban proche de l'aimant ?
  - (c) Le sens du champ magnétique a-t-il une influence sur le sens de la force ? sur sa direction ?
3. Le circuit étant fermé, placé successivment l'aimant dans dans trois situations suivantes :

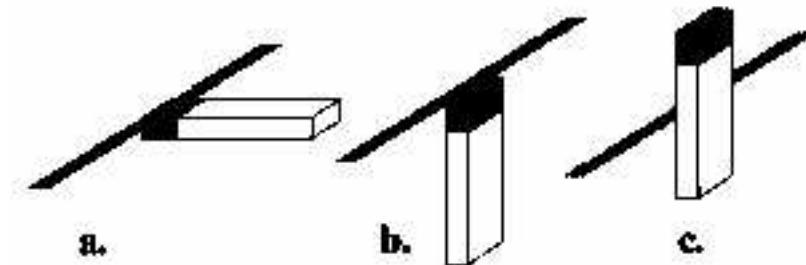


FIG. 2 – En a et b, le ruban est placé face à un pôle de l'aimant. En c, le ruban est placé au milieu de l'aimant

- (a) Représenter, dans chaque cas, le ruban en indiquant le sens du courant. Représenter le vecteur champ magnétique « vu » par la partie du ruban proche de l'aimant. Tracer en fonction des observations le vecteur force électromagnétique  $\vec{F}$ .
- (b) Quelle loi générale relie la direction et le sens :
  - de  $\vec{B}$  ?
  - du courant dans le ruban d'aluminium ?
  - de la force électromagnétique, appelée force de Laplace, subie par le ruban ?

# TP : Force de Lorentz

## Objectifs

- Découvrir expérimentalement la force de Lorentz.
- Remarquer la parenté de cette force avec la force de Laplace.
- Découvrir quelquesunes de ses nombreuses applications par une recherche documentaire.

## Matériel

- oscilloscope
- aimant droit

## I. Réglage de l'oscilloscope

Régler un oscilloscope en mode  $XY$ .

On observe sur l'écran un point lumineux dû au faisceau d'électrons frappant le matériau luminescent tapissant l'arrière de l'écran.

En utilisant les bouton X-position et Y-position, centrer ce point lumineux.

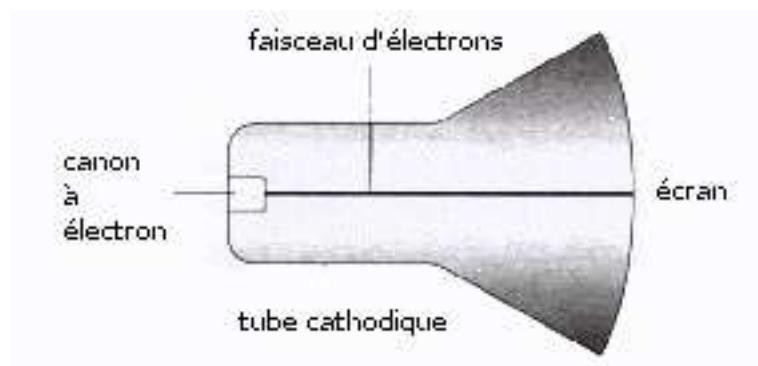


FIG. 1 – Principe d'un oscilloscope

## II. Influence d'un aimant

Approcher le milieu d'un petit aimant droit, ou les branches d'un aimant en U, de ce spot.

- Qu'observe-t-on ? À partir de ces observations, représenter pour la situation de la figure suivante la force subie par les électrons du faisceau lorsqu'ils passent au point  $P$  où l'on a représenté le vecteur champ magnétique.

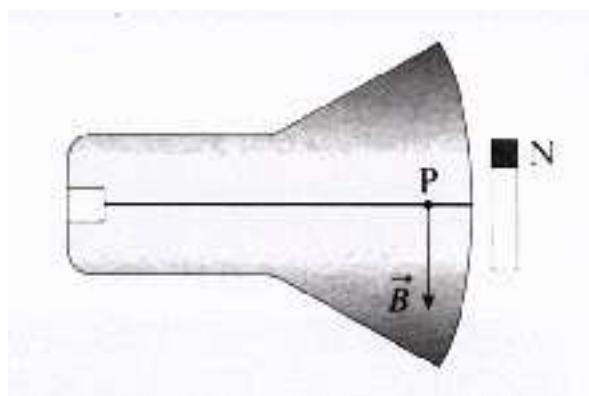


FIG. 2 – Influence d'un aimant

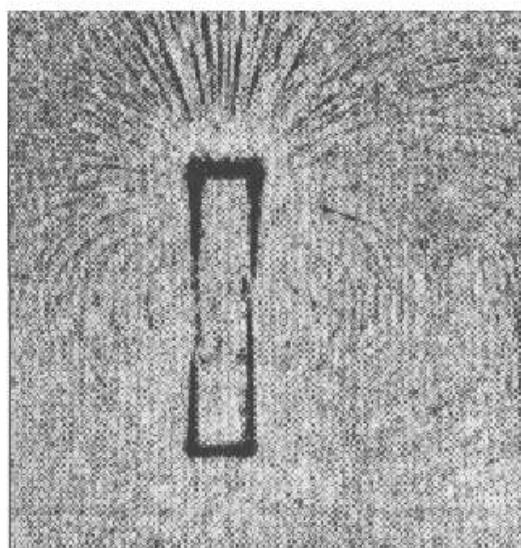
- Quels rapprochements peut-on faire avec la force de Laplace ?

## III. Recherche documentaire

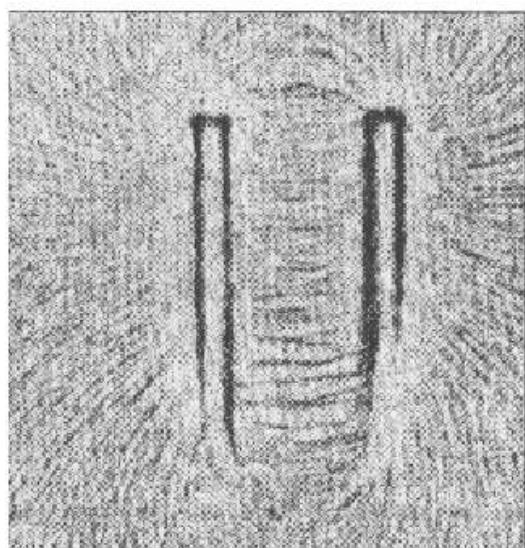
Rechercher des applications de la force de Lorentz.

### Annexe : spectres magnétiques

- d'un aimant droit
- et d'un aimant en U



(a)



(b)

# Devoir Surveillé



# Devoir Surveillé n° 1

Charges et matière : particules élémentaires

Interactions fondamentales

Grandeurs physiques et quantité de matière

20

## Exercice 1 : Fil de cuivre électrisé

Le cuivre est l'un des meilleurs conducteurs.

Il est utilisé pour réaliser les liaisons dans les circuits électriques.

On admet qu'un électron par atome est libre de se déplacer dans le métal.

On dispose d'un fil de cuivre, de section  $S = 1,5 \text{ mm}^2$  et de longueur  $l = 20 \text{ cm}$ .

1. Calculer la masse d'un atome de cuivre.
2. Calculer la masse de l'échantillon de matière considéré.
3. Quel est, dans l'échantillon de matière considéré, le nombre d'atomes de cuivre présents ?
4. On électrise ce fil en lui transférant la charge  $q = 15 \text{ nC}$ .
  - (a) Comment peut-on réaliser ce transfert ?
  - (b) Indiquer la nature des particules transférées et calculer leur nombre.
  - (c) Comparer le nombre de particules transférées au nombre d'électrons libres dans le fil et conclure.
5. Ce fil est mis en contact avec un autre fil de cuivre, de mêmes dimensions mais neutre, puis séparé.  
Décrire l'état final de chaque fil.

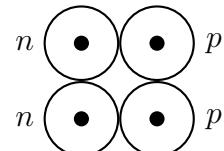
**Données :**

- masse volumique du cuivre :  $\rho = 8,96 \text{ g.cm}^{-3}$ ,
- nombre de nucléons :  $A = 64$ ,
- masse d'un nucléon :  $m_{\text{nucléon}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,
- charge élémentaire :  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

## Exercice 2 : Noyau d'hélium

Un noyau d'hélium 4 est formé de deux protons et de deux neutrons.

Le rayon moyen d'un nucléon est  $r_n = 1,2 \text{ fm}$  et on suppose que les quatre nucléons du noyau sont au contact comme le montre la figure suivante.



1. Calculer la valeur de la force d'interaction gravitationnelle entre deux neutrons ou entre deux protons. S'agit-il d'une force attractive ou répulsive ?
2. Calculer la valeur de la force d'interaction électrique entre deux protons. S'agit-il d'une force attractive ou répulsive ?
3. À partir de ces deux calculs, conclure sur l'existence d'un troisième type d'interaction.  
Donner son nom.

**Données :**

- masse d'un nucléon (proton ou neutron) :  $m_n = m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

- charge élémentaire :  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} C$
- constante universelle de gravitation :  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot kg^{-2} \cdot m^2$
- constante de l'interaction coulombienne :  $k = 9 \cdot 10^9 N \cdot C^{-2} \cdot m^2$

### Exercice 3 : Solubilité du dioxygène dans l'eau

Le dioxygène est faiblement soluble dans l'eau. Cette propriété est fondamentale pour la vie aquatique. À la température  $\theta = 10^\circ C$ , sous une pression en dioxygène  $P = 1013 hPa$ , la masse maximale  $m_{max}$  de dioxygène pouvant être dissous dans  $1,00 m^3$  est de  $55,0 g$ .

1. Calculer la quantité maximale  $n_{max}$  de dioxygène dissous dans un volume  $V = 1,00 m^3$  d'eau. La solubilité est la concentration maximale en dioxygène dissous dans l'eau. En déduire, en  $mol \cdot L^{-1}$ , la solubilité  $s$  du dioxygène à cette température.
2. Calculer le volume maximal  $V'_{max}$  de dioxygène dissous dans  $1,00 m^3$  d'eau.
3. À la température  $\theta' = 30^\circ C$ , sous une pression en dioxygène de  $1013 hPa$ , le volume maximal dissous dans un volume  $V = 1,00 m^3$  d'eau vaut  $V''_{max} = 30,0 L$ . Calculer la solubilité  $s'$  du dioxygène à cette température. Comment varie la solubilité du dioxygène avec la température ?

#### Données :

- masse molaire atomique de l'oxygène :  $M_O = 16 g \cdot mol^{-1}$
- constante des gaz parfaits  $R = 8,314 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$

### Exercice 4 : Préparation d'une solution aqueuse de glucose

1. On souhaite préparer  $100 mL$  d'une solution aqueuse de glucose de formule  $C_6H_{12}O_6$  de concentration  $1,11 \cdot 10^{-1} mol \cdot L^{-1}$ .
  - (a) Calculer la masse molaire du glucose.
  - (b) Calculer la masse de glucose à peser.
2. On réalise une solution fille en prélevant  $5 mL$  de la solution mère de glucose à  $1,11 \cdot 10^{-1} mol \cdot L^{-1}$  et en ajoutant  $15 mL$  d'eau.
  - (a) Calculer la concentration molaire (en  $mol \cdot L^{-1}$ ) de la solution fille.
  - (b) Calculer la concentration massique (ou titre massique en  $g \cdot L^{-1}$ ) de la solution fille.

#### Données :

- masse molaire atomique du carbone :  $M_C = 12 g \cdot mol^{-1}$
- masse molaire atomique de l'oxygène :  $M_O = 16 g \cdot mol^{-1}$
- masse molaire atomique de l'hydrogène :  $M_H = 1 g \cdot mol^{-1}$

### Exercice 5 : Combustion du magnésium

On réalise la combustion d'un ruban de magnésium ( $Mg$ ) de masse  $m = 1,215 g$  dans un flacon fermé contenant  $1,0 L$  de dioxygène pur ( $O_2$ ). Il y a formation d'oxyde de magnésium ( $MgO$ ).

1. Calculer les quantités de matière initiale de réactif.
2. Donner l'équation bilan de la réaction.
3. Faire un tableau d'avancement.
4. Déduire l'avancement maximal  $x_{max}$ .
5. Quel est le réactif limitant dans cette transformation ?

#### Données :

- masse molaire atomique du magnésium :  $M_{Mg} = 24,3 g \cdot mol^{-1}$
- volume molaire gazeux dans les conditions de cette expérience :  $V_m = 24 L \cdot mol^{-1}$

## Correction DS n°1

### Exercice 1 : Fil de cuivre électrisé

1. Masse d'un atome de cuivre  $m = A \cdot m_{\text{nucléon}} = 64 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} = 1,07 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$
2. Masse de l'échantillon :  $m' = \rho V = \rho Sl = 8,96 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 20 = 2,7 \text{ g}$
3. Nombre d'atomes de cuivre :  $N = \frac{m'}{m} = \frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{1,07 \cdot 10^{-25}} = 2,5 \cdot 10^{22}$
4. (a) Chargé par contact avec un corps chargé positivement  
 (b) Perte de  $x$  électrons  $x = \frac{15 \cdot 10^{-9}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 9,4 \cdot 10^{10}$   
 (c) En moyenne, dans un métal bon conducteur, un électron par atome est libre de se déplacer d'un bout à l'autre de l'échantillon de matière.  $2,5 \cdot 10^{22}$  électrons libres pour  $9,4 \cdot 10^{10}$  électrons transférés moins de 1 électron libre sur 270 milliards transféré.
5. au moment du contact la charge  $q$  est uniformément répartie.  
 Après séparation, chaque fil portera la charge  $\frac{q}{2} = 7,5 \text{ nC}$

### Exercice 2 : Noyau d'hélium

Distance entre deux neutrons ou 2 protons :  $r = 2r_n = 2,4 \text{ fm}$

1. attractive

$$F_g = G \frac{m_n^2}{r^2} \approx G \frac{m_p^2}{r^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \left( \frac{1,67 \cdot 10^{-27}}{2,4 \cdot 10^{-15}} \right)^2 = 3,2 \cdot 10^{-35} \text{ N}$$

2. répulsive

$$F_e = k \frac{e^2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \left( \frac{1,60 \cdot 10^{-19}}{2,4 \cdot 10^{-15}} \right)^2 = 40 \text{ N}$$

3. force gravit. très inférieure à force électrique donc répulsion si pas de 3ème interaction  
 interaction forte

### Exercice 3 : Solubilité du dioxygène dans l'eau

### Exercice 4 : Préparation d'une solution aqueuse de glucose

1. (a)  $M_{C_6H_{12}O_6} = 6.M_C + 12.M_H + 6.M_O = 6 \times 12 + 12 \times 1 + 6 \times 16 = 180 \text{ g.mol}^{-1}$   
 (b)  $n_{C_6H_{12}O_6} = cV = \frac{m_{C_6H_{12}O_6}}{M_{C_6H_{12}O_6}} \implies m_{C_6H_{12}O_6} = cVM = 2 \text{ g}$
2. (a)  $V_F = 20 \text{ mL}$   
 $n_2 = n \frac{V_M}{V_m} = 1,11 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{5}{100} = 555 \cdot 10^{-6} \text{ mol de glucose dans 5 mL}$   
 $c = \frac{n_2}{V_F} = \frac{555 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-3}} = 2,77 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$   
 (b)  $t = Mc = 180 \times 2,77 \cdot 10^{-2} = 5 \text{ g.L}^{-1}$

### Exercice 5 : Combustion du magnésium

1.  $2Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 2MgO(s)$
2.  $n_{Mg_{ini}} = \frac{m_{Mg}}{M_{Mg}} = 0,050 \text{ mol} ; n_{O_{2ini}} = \frac{V_{O_2}}{V_m} = 0,042 \text{ mol}$

Équation de la réaction :		2Mg(s) + O <sub>2</sub> (g) → MgO(s)		
État du système	avancement	n(Mg)(mol)	n(O <sub>2</sub> )(mol)	n(MgO)(mol)
État initial	0	0,050	0,042	0
Au cours de la transformation	$x$	$0,050 - 2x$	$0,042 - x$	$2x$
État final	$x_{max} = 0,025$	0	0,017	0,050

4.  $x_{max}$  trouvé en résolvant  
 $0,050 - 2x \geq 0 \Rightarrow x \leq 0,025$   
 $0,042 - x \geq 0 \Rightarrow x \leq 0,042$   
 $x_{max} = 0,025$
5. Le réactif limitant est le magnésium.



# Devoir Surveillé n° 2

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Exercice 1 : Pourcentage massique et densité

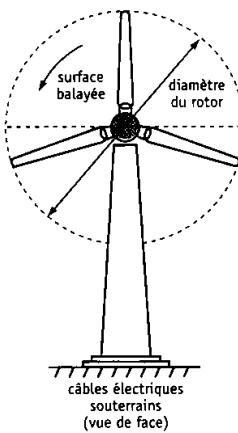
On dispose d'une bouteille de solution commerciale  $S_0$  d'acide phosphorique  $H_3PO_4$ . On peut lire sur l'étiquette les indications suivantes : pourcentage massique en acide phosphorique  $P_m = 85 \%$ , densité  $d = 1,7$ , masse molaire moléculaire  $M_{H_3PO_4} = 98 \text{ g.mol}^{-1}$ .

1. Calculer la concentration massique de la solution  $S_0$ .
2. En déduire sa concentration molaire.
3. On veut préparer 500 mL d'une solution d'acide phosphorique  $S_1$  de concentration  $1,10 \text{ mol.L}^{-1}$ . Quelle masse d'acide phosphorique doit-on utiliser ?
4. Quel volume  $V_0$  de solution commerciale  $S_0$  doit-on prélever puis compléter à 500 mL pour obtenir la solution voulue  $S_1$  ?
5. Avec quel instrument peut-on prélever le volume  $V_0$  de solution mère ?

## Exercice 2 : Éolienne

Une éolienne des Pyrénées-Orientales possède entre autres parties, une hélice de diamètre  $\Phi = 70 \text{ m}$ . Celle-ci tourne au maximum à  $20 \text{ tr.min}^{-1}$ .

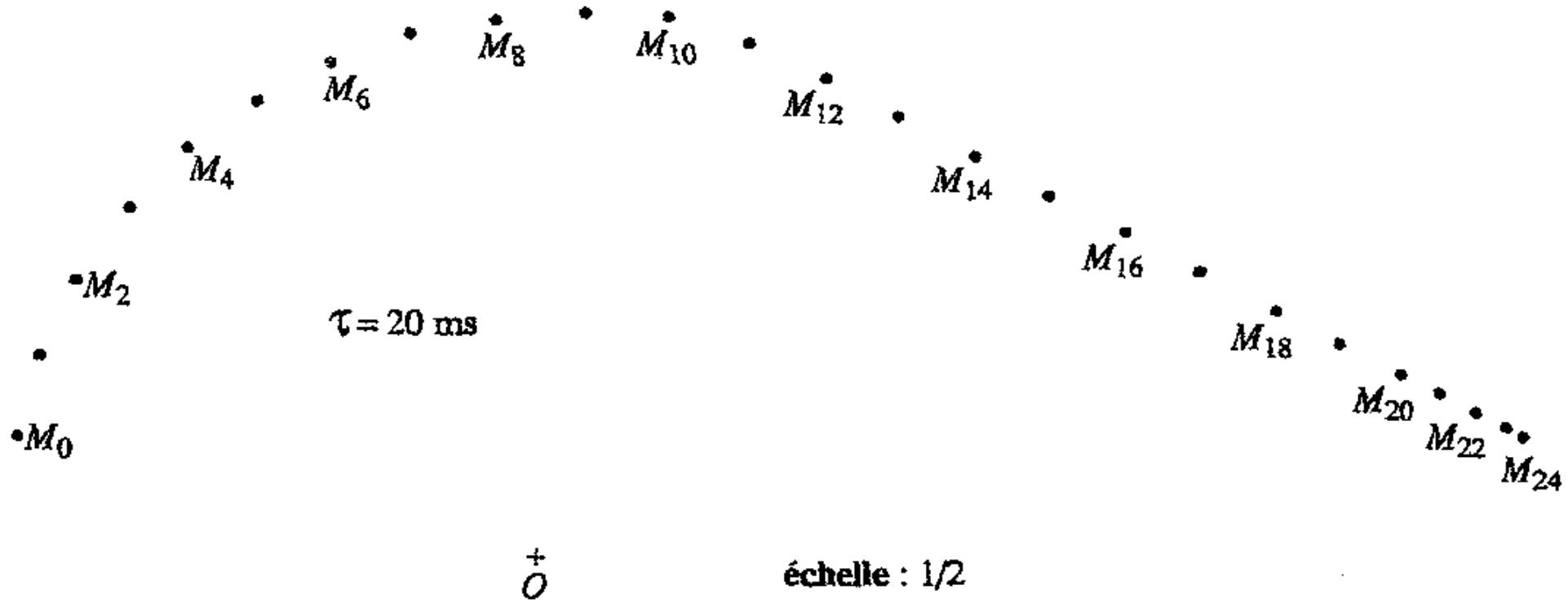
1. Calculer dans ces conditions la fréquence de rotation de l'hélice. Calculer sa période  $T$  de rotation.
2. Quelle est la vitesse angulaire ?
3. Calculer la vitesse en  $\text{km.h}^{-1}$  atteinte au bout des pales.
4. Commenter la phrase d'un journaliste : « la lenteur apparente de rotation des pales est trompeuse ! ».



## Exercice 3 : Trajectoire d'un mobile autoporteur

Sur une table horizontale, un mobile à coussin d'air  $S$  est relié à un point fixe  $O$  par un fil inextensible. On lance le mobile et on enregistre à intervalles de temps réguliers  $\tau = 20 \text{ ms}$  les positions successives  $M_i$  du point  $M$  situé au centre de la semelle du mobile. La première partie du mouvement s'effectue fil tendu, puis celui-ci casse. Quelques instants après, la turbine qui éjecte l'air s'arrête. L'enregistrement est représenté sur le document à l'échelle 1/2.

Calculer les normes des vecteurs vitesse instantanée aux points  $M_8$  et  $M_{19}$ . Construire les vecteurs vitesse instantanée aux points  $M_8$  et  $M_{19}$ . On prendra comme échelle de vitesse :  $1 \text{ cm} \iff 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ .



Première  
Scientifique  
Partie Chimie



# **Grandeurs physiques et quantité de matière**



# TP : Préparations de solutions aqueuses

## Matériel

- Blouse
- Fiole jaugée 100 mL
- Bouchon pour fiole jaugée 100 mL
- Spatule métallique
- Entonnoir à liquide
- Entonnoir à solide
- Coupelle de pesée
- Balance de précision au 1/100ième de gramme près
- Pissette eau distillée
- Pipette jaugée 10 mL, 20 mL, pipette graduée
- Pipeteur
- 2 burettes de 25 mL et pince et support
- 1 bêcher
- 4 tubes à essais et portes tubes

## Produits

- Glucose en poudre
- Bandelettes et boîte « test glucose »

Pour estimer le taux de glucose (sucre) dans les urines, on utilise des bandelettes. Leur coloration dépend de la concentration de sucre présent.

Le glucose a pour formule  $C_6H_{12}O_6$  et son taux doit être régulièrement surveillé notamment chez les diabétiques et les femmes enceintes.

## Objectifs

- Préparer des solutions de glucose de concentrations molaires différentes et vérifier que la teinte des bandelettes dépend bien de ces concentrations.

## I. Échelle de teintes des bandelettes

- Sur le flacon contenant les bandelettes, relever l'échelle de teintes correspondantes à leurs différentes colorations.
- Relever pour chaque coloration la concentration molaire en glucose correspondante.

## II. Préparation de la solution mère $S_M$

- Préparer *avec soin et méthode* 100 mL de solution de glucose de concentration molaire  $1,11 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$  à partir de glucose en poudre.
- Calculer la masse de solide à peser.
- Faire des schémas explicatifs décrivant le protocole expérimental.

## III. Dilution de la solution mère

- Pour réaliser ces dilutions, on utilisera 2 burettes de 25 mL graduées :
  - une burette contiendra la solution mère.
  - l'autre burette contiendra l'eau distillée.
- Les bandelettes doivent être immergées dans les solutions 10 s puis la lecture de la teinte prise doit se faire 20 s après.
- Rappeler la relation utile lors d'une dilution.
- Compléter le tableau suivant :

Volume $V_M$ de la solution mère ( $mL$ )	10	5	2,5	1,25
Volume d'eau ajoutée ( $mL$ )	10			
Volume $V_F$ de la solution fille ( $mL$ )	20	20	20	20
Concentration molaire calculée $c_F$ de la solution fille ( $mol.L^{-1}$ )				
Concentration massique calculée ( $g.L^{-1}$ )				
Teinte de la bandelette				

## IV. Conclusions

## V. Recherches

- Rechercher la signification des mots *glycémie* et *hypoglycémie*
- Que faut-il faire en cas d'hypoglycémie ?
- Quand parle-t-on de diabète ?
- Le taux de glycémie à jeun, pour un adulte, doit être inférieur à  $1,20\ g.L^{-1}$ . Calculer la concentration molaire limite.



# TP : Détermination du volume molaire gazeux

## Matériel

- lunettes
- blouse
- gants
- solution d'acide chlorhydrique à 1 mol.L<sup>-1</sup>
- solution de soude à 1 mol.L<sup>-1</sup>
- Ruban de magnésium
- fil de cuivre
- erlenmeyer et bouchon ou flacon et bouchon
- tube à dégagement
- éprouvette de 50 mL
- support, pince, noix
- bêcher
- pipette et propipette
- cristallisoir ou bassine
- tube à essais
- allumettes
- balance de précision 1/10 000ième de gramme
- thermomètre et baromètre pour la salle de classe.

## Objectifs

- Déterminer à température et pression données, le volume molaire  $V_m$  d'un gaz produit par une réaction chimique.

## I. Principe de l'étude

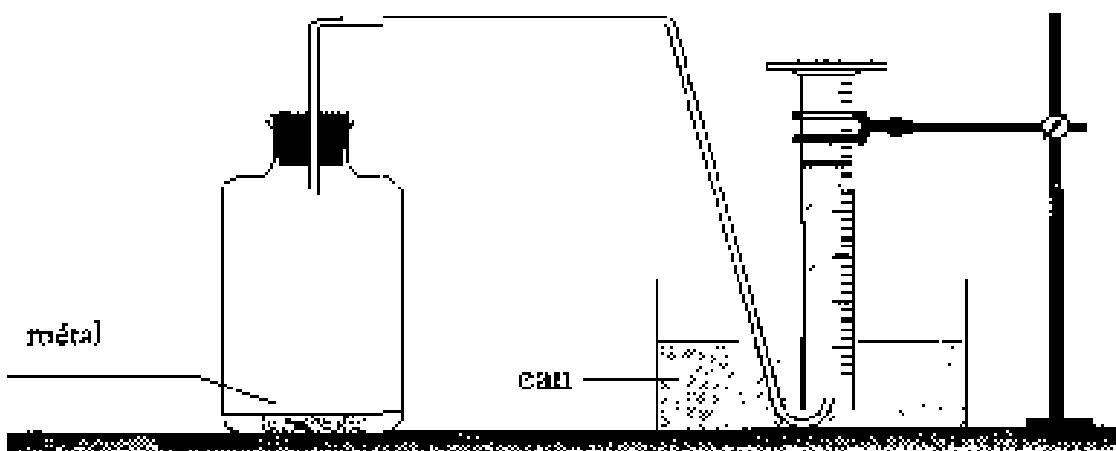
Au cours de la réaction d'une solution d'acide chlorhydrique avec certains métaux, il se produit un dégagement gazeux. La connaissance de la quantité de matière  $n$  ou du volume de gaz produit  $V$  permet de déterminer le volume molaire gazeux  $V_m$  dans les conditions de température et de pression de l'expérience.

## II. Protocole expérimental

### A. Étude de la réaction

1. Dans un tube à essai, verser 2 mL de solution d'acide chlorhydrique  $H_{aq}^+ + Cl^-$ . Introduire un petit morceau de ruban de magnésium et boucher le tube. Observer. Si un dégagement gazeux se produit, approcher une allumette enflammée. Conclure.
2. Tester les ions qui se sont formés en solution. Verser goutte après goutte de la soude  $NaOH$ . Observer, décrire et conclure quant à la nature des ions formés ? Proposer l'équation de la réaction entre l'acide et le magnésium (les ions  $Cl^-$  sont restés spectateurs).
3. Recommencer l'expérience en remplaçant le morceau de magnésium par un morceau de tournure de cuivre. Conclure.

### B. Réalisation de l'expérience



1. Peser la masse d'un morceau de magnésium de longueur  $l = 4 \text{ cm}$  environ, préalablement décapé  $m = \dots \text{ g}$ .
2. Réaliser le montage expérimental correspondant au schéma ci-dessus. On remplacera le cas échéant le flacon par un erlenmeyer. Prendre soin de ne pas enfermer d'air dans l'éprouvette.
3. Introduire dans l'erlenmeyer 20 mL d'acide chlorhydrique.
4. Laisser tomber dedans, le ruban de magnésium et fermer immédiatement le bouchon pour ne pas perdre de gaz.
5. Laisser la réaction chimique se produire jusqu'à sa fin.
6. Laisser le système refroidir. Le gaz est alors à la température de la pièce  $\theta = \dots ^\circ\text{C}$ . La pression au sommet de l'éprouvette peut être légèrement différente de la pression atmosphérique. Si possible, déplacer l'éprouvette jusqu'à ce que le niveau d'eau dans celle-ci coïncide avec celui de l'eau du cristallisoir. La pression du gaz est alors égale à patmosphérique du jour :  $p_{atm} = \dots \text{ Pa}$ .
7. Lire le volume occupé par le gaz produit, au sommet de l'éprouvette :  $V = \dots \text{ mL}$ .

### III. Exploitation des résultats

1. Réécrire l'équation de la réaction.
2. Déterminer les quantités de matière des réactifs réagissants. ( $M_{Mg} = 24,3 \text{ g.mol}^{-1}$ ;  $M_H = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$ ).
3. Faire le tableau d'avancement de la réaction. Déterminer l'avancement maximal  $x_{max}$ , en déduire le réactif limitant.
4. Établir le bilan de matière.
5. À partir du bilan de matière et de l'équation d'état des gaz parfaits, calculer  $V_{H_2}$  produit à  $P_{atmosphérique}$ . Comparer à  $V_{H_2}$  mesuré.
6. En déduire le volume molaire gazeux dans les conditions de l'expérience.

# TP : Suivi d'une transformation chimique par mesure de pression

## Objectifs

- Déterminer pour différentes conditions initiales, le réactif limitant d'une transformation chimique produisant un gaz

## Matériel

- Solution d'acide chlorhydrique à  $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$
- carbonate de calcium en poudre
- spatule
- papier filtre
- balance
- flacon de  $500 \text{ mL}$  environ
- mano-baromètre
- éprouvette graduée

## I. Principe de l'étude

Une solution d'acide chlorhydrique réagit avec du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  aussi appelé calcaire. L'un des produits formés est gazeux. La mesure de la pression de ce gaz permet de déterminer la quantité de matière correspondante, la température et le volume étant connus.

## II. Protocole expérimental

### A. Équation de la réaction

Proposer une expérience permettant de vérifier que le gaz formé lors de l'action de l'acide chlorhydrique sur le calcaire est du dioxyde de carbone.

Sachant qu'il se forme également de l'eau, des ions calcium et que les ions chlorure ne participent pas à la réaction, écrire l'équation chimique de cette réaction.

### B. Étude quantitative

#### 1. Manipulation

- Verser dans un flacon un volume  $V = 40 \text{ mL}$  de solution d'acide chlorhydrique de concentration molaire  $C = 0,25 \text{ mol.L}^{-1}$ .
  - Relier le mano-baromètre au bouchon et sélectionner la fonction manomètre.
  - Fermer le flacon, appuyer sur le bouchon et régler le manomètre au zéro.
  - Peser une masse  $m = 0,20 \text{ g}$  de calcaire en le déposant sur le papier filtre. Replier le papier sur la poudre et l'introduire dans le flacon. Fermer rapidement le flacon.
  - Agiter le flacon ; lorsque le dégagement gazeux cesse et que la pression est stable, noter la pression  $P$  du mélange.
  - En fin de réaction, observer s'il reste ou non du solide.
  - Noter la température ambiante  $\theta$ .
  - Recommencer l'expérience pour d'autres masses de calcaire.
2. Proposer une méthode pour mesurer le volume occupé par le mélange gazeux.
  3. Comment calculer la quantité de matière de dioxyde de carbone formé ?
  4. Reproduire le tableau suivant sur le compte-rendu d'expérience et le compléter.

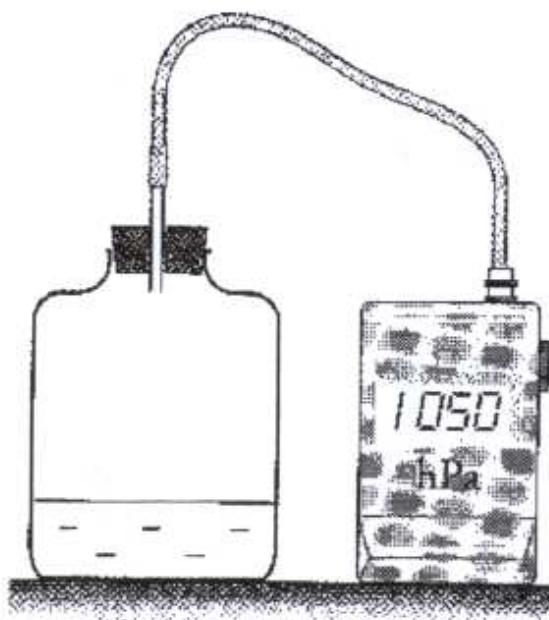
$m$ en $g$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
$P_{CO_2}$ en $hPa$								
$n_{CO_2}$ en $mol$								
Présence de solide								

### III. Résultats

- Tracer le graphe représentant la quantité de matière de  $CO_2$  formé en fonction de la masse  $m$  de calcaire.
- Interpréter les deux parties du graphe obtenu.
- Pour  $m = 0,20\ g$ , établir le tableau d'avancement de la réaction.

Équation	
État initial	
Au cours de la transformation	
État final	

- Indiquer le réactif limitant.
- Comparer la quantité de matière théorique et expérimentale de  $CO_2$  formé.
- Refaire le même travail pour  $m = 0,70\ g$ .



# Solutions électrolytiques



# TP : Concentrations molaires effectives d'ions en solution

## Objectifs

- Préparer une solution électrolytique en mettant en solution un solide ionique.
- Écrire une équation de mise en solution.
- Distinguer la concentration molaire de soluté apporté et les concentrations effectives des ions en solution.
- Identifier des ions en solution à l'aide de tests par précipitation.
- Écrire une équation de précipitation.

## Matériel

- spatule
- burette graduée
- fiole jaugée de 100 mL + bouchon
- 4 bêchers de 50 mL ou pots
- coupelle plastique, entonnoir à solide
- 4 tubes à essai
- 2 pipettes en plastique
- 1 entonnoir avec son support
- 2 filtres en papier
- pissette d'eau distillée

## Bureau

- 2 balances à 0,01 g
- 1 L de solution d'ions  $Ba^{2+}$  avec  $[Ba^{2+}] = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$
- 1 L de solution d'ions  $OH^-$  avec  $[OH^-] = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$
- sulfate de fer III  $Fe_2(SO_4)_3$  solide
- 2 pipettes de 20 mL avec propipettes

## I. Préparation de la solution de sulfate de fer (III)

1. Préparer 100 mL d'une solution de sulfate de fer (III) de concentration  $c = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  à partir du solide  $Fe_2(SO_4)_3$ .
2. Indiquer sur le compte rendu à l'aide de schéma le protocole expérimental pour réaliser cette dissolution.
3. Écrire l'équation bilan de la dissolution du cristal ionique. En déduire les concentrations effectives des ions présents en solution.

## II. Vérification expérimentale des quantités d'ions fer (III) et d'ions sulfate

1. Prélever deux fois 20 mL de la solution de sulfate de fer que l'on placera dans 2 bêchers distincts (1 et 2).
2. Calculer le nombre de mol d'ions  $Fe^{3+}$  et d'ions sulfate  $SO_4^{2-}$  présents dans ces 20 mL.
3. On donne les réactions de précipitations suivantes :
  - les ions  $Fe^{3+}$  réagissent avec les ions hydroxydes  $HO^-$  en donnant un précipité marron
  - les ions  $SO_4^{2-}$  réagissent avec les ions baryum  $Ba^{2+}$  en donnant un précipité blanc.Ecrire les équations bilan des deux réactions de précipitations.
4. Calculer les quantités de matière à utiliser en ions  $HO^-$  et en ions  $Ba^{2+}$  pour faire complètement réagir par précipitations les ions contenus dans les 20 mL de la solution de sulfate de fer III.
5. Calculer les volumes d'hydroxyde de sodium ( $Na^+ + HO^-$ ) et de chlorure de baryum ( $Ba^{2+} + 2Cl^-$ ) pour faire complètement réagir les ions  $Fe^{3+}$  et  $SO_4^{2-}$ .
6. Placer la solution de soude ( $Na^+ + HO^-$ ) dans une burette puis réaliser la précipitation des ions  $Fe^{3+}$  dans le bêcher noté 1 en vous plaçant dans les conditions expérimentales de la question 5.
7. Rincer correctement la burette puis y placer la solution de chlorure de baryum ( $Ba^{2+} + 2Cl^-$ ). Réaliser la précipitation des ions sulfates  $SO_4^{2-}$  dans le bêcher noté 2 en vous plaçant dans les conditions expérimentales de la question 5.
8. Réaliser des tests complémentaires sur les produits de vos réactions de précipitations permettant de confirmer l'absence d'ions  $Fe^{3+}$  et  $SO_4^{2-}$ .
9. Conclure sur la validité de vos calculs théoriques.



# Conductimétrie



# TP : Détermination par conductimétrie de la concentration en soluté d'une solution ionique

## Objectifs

- réaliser une courbe d'étalonnage  $G = f(C)$  et en déduire une concentration inconnue.
- Aborder une limite de la méthode d'étalonnage.

## Matériel

- bêcher 600 mL
- fiole jaugée 500 mL
- burette graduée 25 mL
- pipette jaugée 5 mL
- agitateur magnétique.
- solution de chlorure de sodium  $S_0$  de concentration  $C_0 = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$
- flacon de serum physiologique
- eau déminéralisée
- générateur basse fréquence.
- 2 multimètres
- cellule de conductimétrie.

## I. Réalisation d'une échelle de conductance

### A. Protocole opératoire

1. Rincer la burette, la remplir à l'aide de la solution  $S_0$  ajuster le zéro.
2. Avec la fiole jaugée, introduire  $V = 500 \text{ mL}$  d'eau déminéralisée dans le bêcher.
3. Placer la cellule conductimétrique dans le bêcher et réaliser le montage électrique correspondant au schéma ci-contre. Les 2 multimètres sont en mode alternatif ( $AC$  ou  $\sim$ ).
4. Sur le GBF, régler la fréquence 500 Hz et fixer la tension à 1,00 V.
5. Au contenu du bêcher, ajouter les volumes  $V_0$  suivants de solution de chlorure de sodium mesurés précisément grâce à la burette. Après chaque addition, vérifier que la tension est toujours de 1,00 V et relever la valeur de l'intensité.

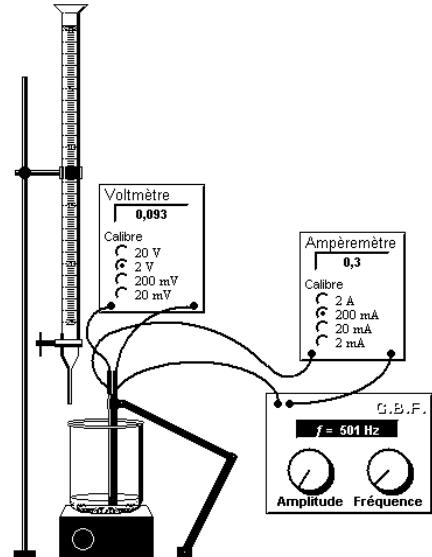


FIG. 1 – Dispositif expérimental

### B. Résultats

1. Calculer la conductance  $G$  et compléter le tableau suivant.

$V_0 \text{ (mL)}$	0	5	10	15	20	25
$C \text{ (mol.L}^{-1}\text{)}$						
$G \text{ (mS)}$						

2. Tracer la courbe d'étalonnage  $G = f(C)$ .

## II. Détermination de la concentration en $NaCl$ d'une solution de sérum physiologique

L'objectif est de déterminer la concentration du chlorure de sodium dans le sérum physiologique injectable.

1. Diluer au 1/100<sup>e</sup> le sérum physiologique. En préparer 500 mL.
2. Décrire à l'aide de schémas le protocole utilisé pour réaliser cette dilution au 1/100<sup>e</sup> et obtenir la solution  $S'$ .
3. Déterminer la conductance  $G'$  de cette solution  $S'$ .
4. En déduire la concentration  $C'$  du chlorure de sodium dans le sérum physiologique dilué.

## III. Questions complémentaires

1. Expliquer comment calculer la concentration  $C$  des différentes solutions de chlorure de sodium. Donner l'expression de  $C$  en fonction de  $C_0$ ,  $V_0$ ,  $V$ .
2. Comment calcule-t-on la conductance  $G$  ?
3. Pour quelle raison pratique a-t-on intérêt à prendre  $U = 1,00\text{ V}$  dans les différentes manipulations ?
4. En extrapolant la courbe d'étalonnage, prévoir la conductance d'une portion de solution concentrée à  $T = 58,4\text{ g.L}^{-1}$ . Mesurer la conductance réelle d'une portion d'une telle solution. Que peut-on conclure quant à la méthode d'étalonnage utilisée. On donne  $M_{Na} = 23\text{ g.mol}^{-1}$  et  $M_{Cl} = 35,5\text{ g.mol}^{-1}$ .
5. Rappeler la valeur de la concentration  $C'$  du chlorure de sodium dans le sérum physiologique dilué.
6. Comment peut-on alors déterminer la concentration  $C'_0$  du chlorure de sodium dans la solution commerciale de sérum physiologique ? Calculer cette concentration  $C'_0$  puis le titre massique (concentration massique) correspondant  $T_0$ . Le comparer avec les indications figurant sur l'étiquette du flacon (0,9 % en masse).



FIG. 2 – Solution de chlorure de sodium

# TP : Étude de la conductivité molaire d'une solution ionique

## Objectifs

- Comparer les conductances de solutions diluées de divers électrolytes.
- Dégager la notion de conductivité molaire ionique.

- voltmètre
- ampèremètre
- cellule de conductimétrie  $L = 1 \text{ cm}$  et  $S = 3 \text{ cm}^2$
- agitateur en verre
- papier essuie-tout

## Matériel

- simulateur conductimétrie du CD-ROM MICRO-MEGA HATIER Première S Chimie
- bécher 100 mL, 250 mL
- entonnoirs
- pipette jaugée 20 mL
- pipette graduée
- pipeteur
- générateur basse fréquence

## Produits

- solutions à  $5 \text{ mmol.L}^{-1}$  :  
 $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaBr}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  
 $\text{KCl}$ ,  $\text{KBr}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  
 $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$   
présentées dans des flacons bouchés
- pissette d'eau déminéralisée
- réserve d'eau déminéralisée

## I. Étude de la conductance de diverses solutions diluées

### A. Protocole opératoire

On souhaite déterminer la conductance de solutions à  $5,0 \text{ mmol.L}^{-1}$  obtenues en dissolvant les espèces chimiques suivantes :

- $\text{NaCl}$ ;  $\text{NaBr}$ ;  $\text{NaOH}$ ;  $\text{NaNO}_3$ .
- $\text{KCl}$ ;  $\text{KBr}$ ;  $\text{KOH}$ ;  $\text{KNO}_3$ .
- $\text{HCl}$ ;  $\text{HNO}_3$ .

- Faire le schéma du montage à utiliser en précisant les branchements du voltmètre et de l'ampèremètre (à faire la veille à la maison).
- Après accord du professeur, réaliser le montage en utilisant comme source de tension un générateur basse fréquence GBF réglé en mode sinusoïdal sur une fréquence de l'ordre de 500 Hz. Mettre sous tension la cellule conductimétrique ; choisir si possible, une tension efficace appliquée  $U = 1,00 \text{ V}$  et mesurer l'intensité efficace  $I$  du courant qui traverse la cellule.
- Entre deux mesures, rincer soigneusement la cellule à l'eau déminéralisée.
- Compléter les tableaux ci-dessous, en plaçant, à l'intersection d'une ligne et d'une colonne, la conductance  $G$  de la solution contenant les deux ions. Laisser libre la dernière ligne pour le moment.

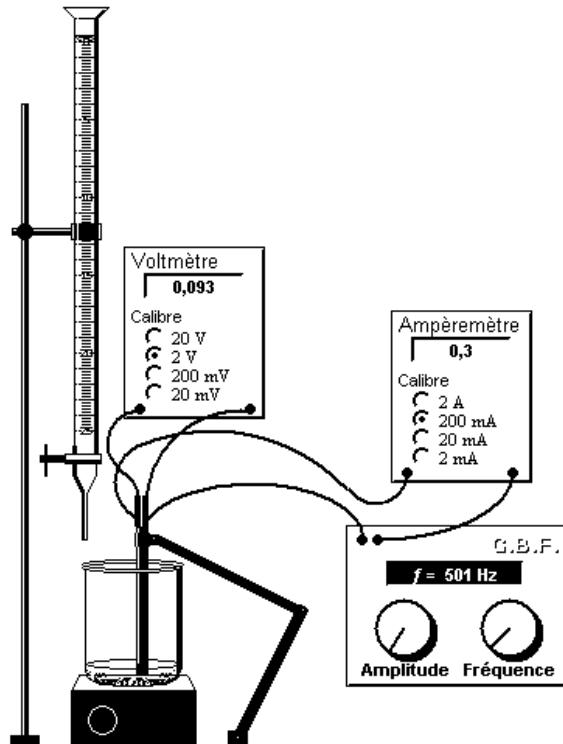


FIG. 1 – Dispositif expérimental

Anion \ Cation	$Cl^-$	$Br^-$	$HO^-$	$NO_3^-$
$K^+$				
$Na^+$				

TAB. 1 – Tableau 1

Cation \ Anion	$Na^+$	$K^+$	$H^+$
$NO_3^-$			
$Cl^-$			

TAB. 2 – Tableau 2

## B. Résultats

1. Donner les noms des dix solutés et écrire leurs équations de dissolution.
2. Comparer, pour un anion donné les conductances des solutions contenant les cations sodium et les solutions contenant les cations potassium. Lesquelles sont les plus conductrices ? Cet ordre dépend-il de l'anion considéré ?
3. Comparer de la même façon, pour un cation donné, les conductances des solutions des différents anions. Lesquelles sont les plus conductrices ? Cet ordre dépend-il du cation considéré ?
4. Calculer en utilisant les valeurs du tableau 1 :  $G(K^+ + X^-) - G(Na^+ + X^-)$ , c'est à dire la différence des conductances des solutions contenant les ions potassium et sodium situées dans les différentes colonnes du tableau 1. Porter ces valeurs dans la dernière ligne du tableau. Qu'observe-t-on ?
5. En est-il de même pour le changement d'anions de la solution ? Le vérifier grâce au tableau 2.
6. Il a été établi dans le cours que pour des solutions diluées et un électrolyte ou soluté unique :

$$G_{\text{soluté}} = \frac{S}{L}(\lambda_{\text{cation}} [\text{cation}] + \lambda_{\text{anion}} [\text{anion}])$$

- (a) Exprimer de façon littérale la différence :  $G(K^+ + Cl^-) - G(Na^+ + Cl^-)$ . Calculer sa valeur. Que peut-on en déduire ?
- (b) Obtient-on le même résultat en calculant la différence  $G(K^+ + Br^-) - G(Na^+ + Br^-)$  ?
- (c) Exprimer de façon littérale puis calculer  $G(K^+ + Cl^-) - G(H^+ + Cl^-)$  ou  $G(K^+ + NO_3^-) - G(H^+ + NO_3^-)$ . Que peut-on en déduire ?

En déduire un classement des 3 cations en fonction de leur conductivité molaire ionique  $\lambda$ .

- (a) Exprimer de façon littérale puis calculer  $G(Na^+ + NO_3^-) - G(Na^+ + Br^-)$ . Que peut-on en déduire ?
- (b) Exprimer de façon littérale puis calculer  $G(Na^+ + NO_3^-) - G(Na^+ + HO^-)$ . Que peut-on en déduire ?
- (c) Exprimer de façon littérale puis calculer  $G(Na^+ + NO_3^-) - G(Na^+ + Cl^-)$ . Que peut-on en déduire ?

En déduire un classement des 4 anions  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $HO^-$ ,  $NO_3^-$  et des cations  $Na^+$ ,  $H^+$

7. On donne la conductivité molaire ionique de l'ion potassium  $\lambda_{K^+} = 7,35 \cdot 10^{-3} \text{ S.m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ . À partir de cette valeur, calculer les conductivités molaires ioniques des anions  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $HO^-$ ,  $NO_3^-$  et des cations  $Na^+$ ,  $H^+$ .
8. Placer ces valeurs sur un axe des conductivités molaires ioniques  $\lambda$ .

FIG. 2 – Axe représentant les conductivités molaires ionique  $\lambda$  de différents ions

9. Y a-t-il adéquation avec le tableau donné par le manuel de Chimie ? Conclure.

**Terminale  
Sciences et Technologie de  
Laboratoire  
Biochimie - Génie Biologique**



# Courant et tension électrique



# Circuit électrique

## Courant et tension électrique

### I. Circuit électrique

#### A. Comment réaliser un circuit électrique ?

##### 1. Matériels

Pour réaliser un circuit électrique il faut au moins :

1. ....
2. ....
3. ....
4. ....



##### 2. Rôle des éléments du circuit

Le générateur est .....

Le récepteur ..... l'énergie électrique en :

- .....
- .....
- .....
- .....

Les fils de liaison permettent .....

#### B. Vocabulaire

- Un dipôle .....

- Un nœud .....
  - .....
  - Un circuit est constitué de plusieurs .....

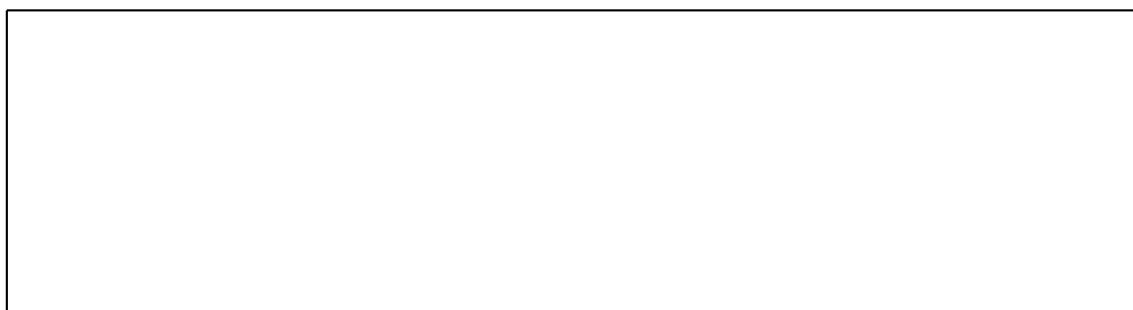
## II. Le courant électrique

## A. Nature du courant électrique

Dans un conducteur électrique, le courant électrique est constitué par un déplacement .....

La mise en mouvement est réalisée par le ..... .

Dans les électrolytes, les porteurs de charges sont .....:



Le sens conventionnel du courant est le sens ..... de celui des électrons, donc de la borne ..... à la borne - à l'extérieur du générateur.

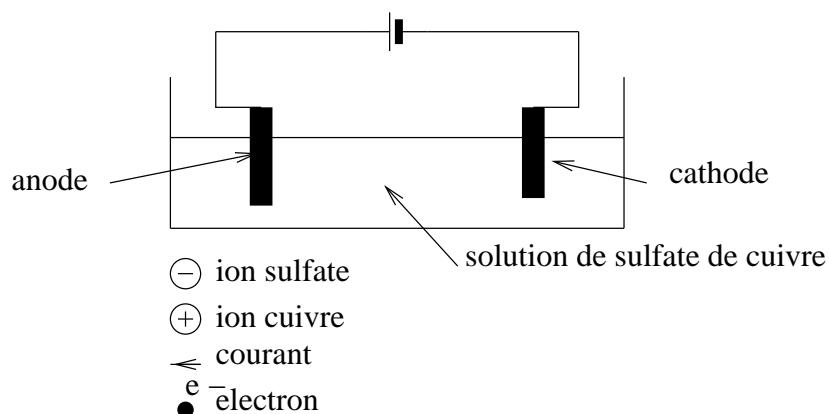


FIG. 1 – Double migration des ions

Indiquez sur le schéma ci-dessus le sens de déplacement des électrons, du courant et des ions.

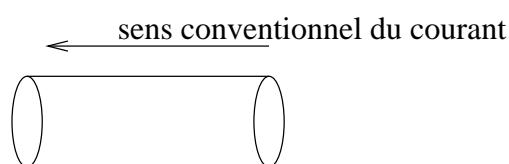


FIG. 2 – Le courant électrique dans une section de circuit

Ajoutez sur ce schéma les électrons responsables du courant ainsi que leur sens de déplacement.

L'intensité du courant électrique est la quantité d'électricité (charge électrique) qui traverse une section du circuit pendant une unité de temps.

.....  
.....

•  $Q$  : .....

•  $t$  : .....

•  $I$  : .....

La charge d'un électron est de .....

## B. Mesure

L'intensité d'un courant se mesure à l'aide

- .....
- ou .....

Pour mesurer l'intensité du courant traversant le circuit il faut brancher cet appareil

.....

Afin de ne pas perturber le montage, la résistance interne de cet appareil .....

On utilise les bornes ..... et .....

Le courant électrique doit rentrer par la borne .....

Il doit sortir par la borne .....

On doit toujours placer le sélecteur de l'appareil sur le calibre .....

Ensuite, on ..... le calibre sans que l'intensité du courant mesurée ne dépasse la valeur de ce calibre.



Lorsqu'on dessine le montage on ne doit pas oublier de préciser les bornes des appareils de mesure.

## III. La tension électrique

### A. Introduction

La tension électrique est également appelée différence de .....

Un potentiel électrique s'exprime .....

.....

La tension  $U_{AB}$  est la différence de potentiel entre les points  $A$  et  $B$ .

.....

On représente la tension  $U_{AB}$  par une flèche de ..... vers .....

ATTENTION ! Le sens de la flèche représentant la tension  $U_{AB}$  est ..... au sens de la flèche représentant le vecteur  $\vec{AB}$

.....

On remarque que comme  $U_{BA} = V_B - V_A$  et que  $U_{AB} = V_A - V_B$  on a :

.....

## B. Mesure

La tension électrique se mesure à l'aide

- .....
- ou .....

Pour mesurer une tension électrique entre 2 points d'un circuit il faut brancher cet appareil

.....

Afin de ne pas perturber le montage, la résistance interne de cet appareil .....

On utilise les bornes ..... et .....

Afin de mesurer une tension positive on branche :

- la borne ... sur le potentiel le plus élevé.
- la borne ..... sur le potentiel le plus faible.

On doit toujours placer le sélecteur de l'appareil sur le calibre .....

Ensuite, on ..... le calibre sans que la tension mesurée ne dépasse la valeur de ce calibre.

## IV. Montages en série et en dérivation

### A. Montage en série

#### 1. Mesure des courants dans le circuit

Dessinez dans le cadre ci-dessous un montage comportant un générateur de tension continu de tension à vide  $E = 10 V$ , 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  associées en série et trois ampèremètres.

Un ampèremètre doit mesurer le courant  $I_G$  qui sort du générateur.

Un autre ampèremètre doit mesurer le courant  $I_1$  qui sort de la résistance  $R_1$ .

Un autre ampèremètre doit mesurer le courant  $I_2$  qui sort de la résistance  $R_2$ .

Quelle relation existe-t'il entre  $I_G$ ,  $I_1$ , et  $I_2$  ?

.....

.....

.....

#### 2. Mesure des tensions aux bornes des dipôles du circuit

Dessinez dans le cadre ci-dessous un montage comportant un générateur de tension continu de tension à vide  $E = 10 V$ , 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  associées en série et trois voltmètres.

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_G$  aux bornes du générateur.

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_1$  aux bornes de la résistance  $R_1$ .

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_2$  aux bornes de la résistance  $R_2$ .

Quelle relation existe-t'il entre  $U_G$ ,  $U_1$ , et  $U_2$  ?

.....

.....

.....

## B. Montage en dérivation

### 1. Mesure des courants dans le circuit

Dessinez dans le cadre ci-dessous un montage comportant un générateur de tension continu de tension à vide  $E = 10 \text{ V}$ , 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  associées en parallèle et trois ampèremètres.

Un ampèremètre doit mesurer le courant  $I_G$  qui sort du générateur.

Un autre ampèremètre doit mesurer le courant  $I_1$  qui sort de la résistance  $R_1$ .

Un autre ampèremètre doit mesurer le courant  $I_2$  qui sort de la résistance  $R_2$ .



Quelle relation existe-t'il entre  $I_G$ ,  $I_1$ , et  $I_2$  ?

.....

.....

.....

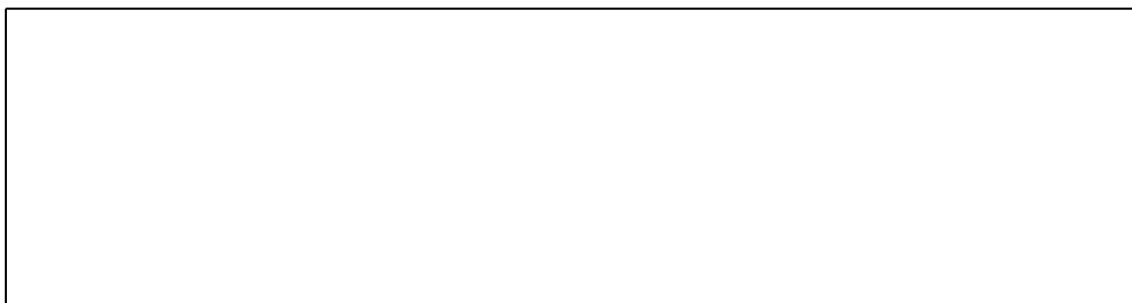
### 2. Mesure des tensions aux bornes des dipôles du circuit

Dessinez dans le cadre ci-dessous un montage comportant un générateur de tension continu de tension à vide  $E = 10 \text{ V}$ , 2 résistances  $R_1$  et  $R_2$  associées en dérivation et trois voltmètres.

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_G$  aux bornes du générateur.

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_1$  aux bornes de la résistance  $R_1$ .

Un voltmètre doit mesurer la tension  $U_2$  aux bornes de la résistance  $R_2$ .



Quelle relation existe-t'il entre  $U_G$ ,  $U_1$ , et  $U_2$  ?

.....

.....

.....

## V. Lois relatives aux réseaux électriques

## A. Loi des noeuds

1. **What is the primary purpose of the study?**

2. **Who are the participants in the study?**

3. **What are the key findings of the study?**

4. **How were the results of the study used to inform policy or practice?**

5. **What are the limitations of the study?**

.....

La somme des intensité des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en sortent.

### B. Additivité des tensions

As a result, the number of people who have been infected with the virus has increased rapidly, and the disease has spread to many countries around the world. The World Health Organization (WHO) has declared the COVID-19 pandemic a global emergency, and governments and health organizations are working to contain the spread of the virus and provide medical care to those affected.

.....

.....

.....

.....

.....

### C. Loi des mailles

- On fléche les courants dans le circuit ainsi que les tensions
  - .....
  - .....
  - On tourne le long de la maille en appliquant la règle suivante :
    - Si la flèche de la tension est dans le même sens que le sens de parcours de la maille on met un signe +
    - Si la flèche de la tension est dans le sens opposé au sens de parcours de la maille on met un signe -
  - Une fois que l'on a fait le tour de la maille on est revenu au point de départ donc la différence de potentiel est nulle.

*Exemple 1 :*

*Exemple 2 :*

#### **D. Loi de Pouillet**

# TP : Propriétés des intensités et des tensions

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Objectifs

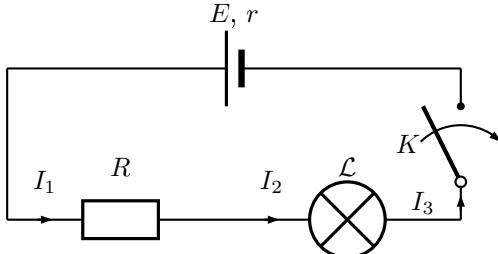
- Réaliser un schéma de montage où figurent les appareils de mesure (ampèremètre, voltmètre) et leurs bornes
- Étude des propriétés de l'intensité d'un courant dans un circuit électrique
- Étude des propriétés de la tension dans un circuit électrique

## Matériel

- générateur 6-12 V réglable
- 3 multimètres
- 2 lampes de tension nominale 6 V
- $R = 10 \Omega$ ;  $R_1 = 180 \Omega$ ;  $R_2 = 270 \Omega$
- 1 bouton poussoir

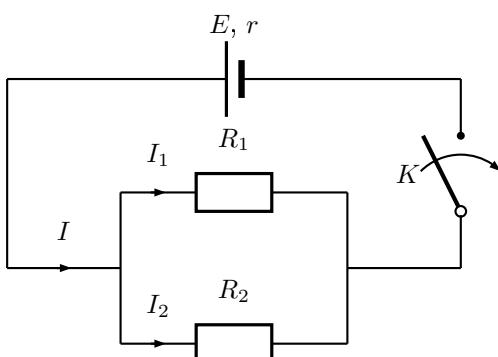
## I. Étude de l'intensité

### A. Circuit série



1. Faire un schéma de montage pour chaque cas permettant la :
  - (a) Mesure de  $I_1$
  - (b) Mesure de  $I_2$
  - (c) Mesure de  $I_3$
2. Faire le montage permettant la mesure de  $I_1$ . Faire vérifier le montage. Mesurer  $I_1$ .
3. Faire le montage permettant la mesure de  $I_2$ . Faire vérifier le montage. Mesurer  $I_2$ .
4. Faire le montage permettant la mesure de  $I_3$ . Faire vérifier le montage. Mesurer  $I_3$ .
5. Conclure.

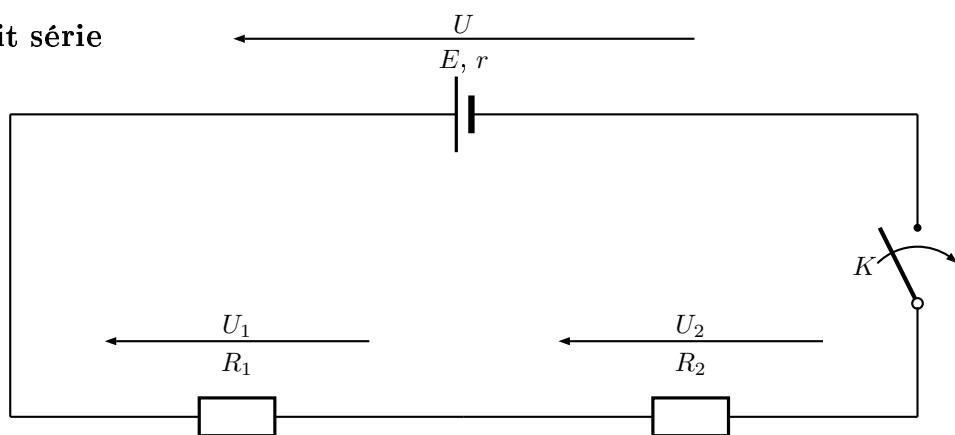
### B. Circuit dérivation



1. Faire un schéma de montage permettant de mesurer  $I$ ,  $I_1$  et  $I_2$ .
2. Réaliser le montage. Faire vérifier le montage.
3. Mesurer  $I$ ,  $I_1$  et  $I_2$ .
4. Conclure.

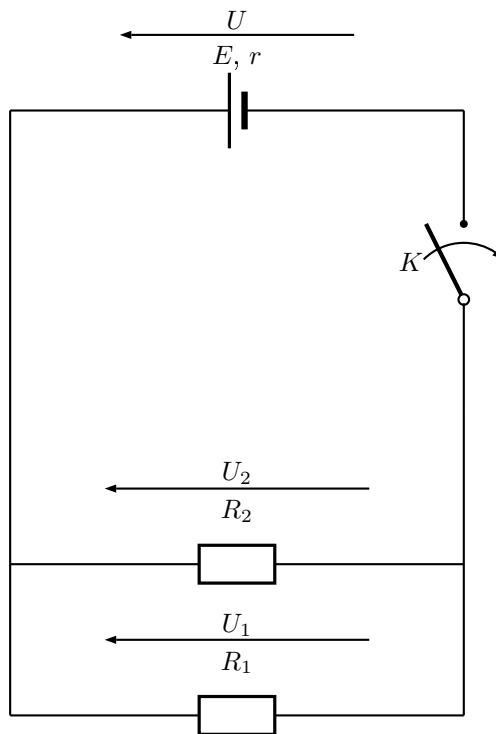
## II. Étude de la tension

### A. Circuit série



1. Faire un schéma de montage permettant de mesurer  $U$ ,  $U_1$  et  $U_2$ .
2. Réaliser le montage. Faire vérifier le montage.
3. Mesurer  $U$ ,  $U_1$  et  $U_2$ .
4. Conclure.

### B. Circuit dérivation



1. Faire un schéma de montage permettant de mesurer  $U$ ,  $U_1$  et  $U_2$ .
2. Réaliser le montage. Faire vérifier le montage.
3. Mesurer  $U$ ,  $U_1$  et  $U_2$ .
4. Conclure.

# Fiche de procédure pour la réalisation de montages électriques

**À appliquer tout le temps !**

- Lire le schéma électrique, prendre connaissance du nombre de dipôles qui le constitue.
- Utiliser les fils rouges du côté de la borne + du générateur et les fils noirs du côté de la borne -.
- Réaliser le montage en partant de la borne + du générateur en se souciant d'abord de la boucle principale. On doit brancher à ce moment les ampèremètres car ils sont en série avec les autres dipôles. On **ne doit pas encore** brancher les voltmètres car ils sont en dérivation.
- Si le montage comporte plusieurs dérivations (boucles), réaliser le montage des dérivations autres que la boucle principale.
- Brancher **maintenant** les voltmètres (car ils sont en dérivation)
- Souvent, dans le montage, par souci de précaution, on insère un bouton poussoir (ou un interrupteur noté  $K$ ).
- Les multimètres (en fonction ampèremètre ou en fonction voltmètre) doivent être correctement branchés (bornes) et correctement réglés (fonction, calibre) : voir « Utilisation du multimètre ».

Le multimètre est un appareil coûteux et fragile. Une mauvaise manipulation peut le détériorer. En l'absence de consignes du professeur, on doit toujours utiliser le calibre le plus élevé.

Il faudra éventuellement affiner la mesure en basculant vers un calibre inférieur au plus gros initialement choisi afin d'obtenir une mesure plus précise.

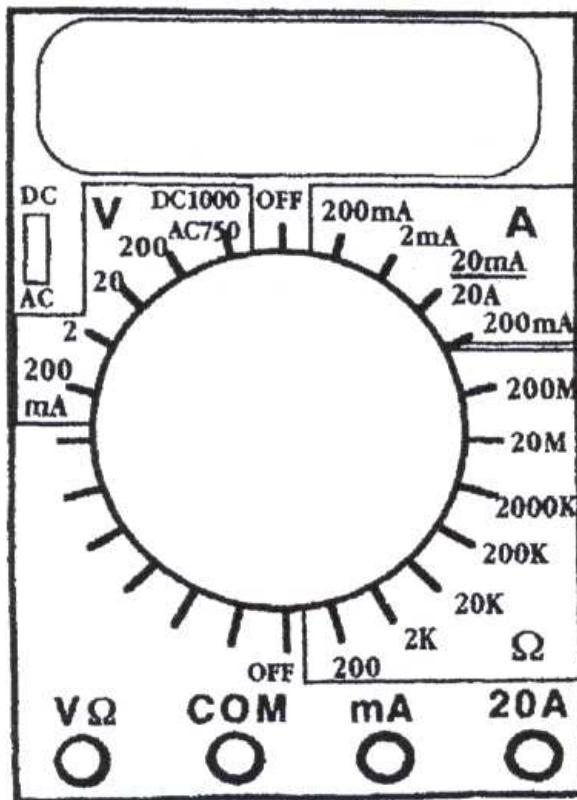
**Erreurs de branchements :** ne jamais placer un ampèremètre en dérivation seul (car l'ampèremètre de résistance interne quasi nulle est équivalent à un fil et court-circuite une partie du montage)

- Appeler discrètement le professeur pour vérification du montage.
- Après vérification par le professeur qui allumera l'alimentation on pourra fermer l'interrupteur (ou appuyer sur le bouton poussoir).
- Faire la ou les mesures.
- Ouvrir l'interrupteur  $K$  (ou relâcher le bouton poussoir).
- Éteindre le générateur.
- Éteindre les multimètres.

Ne jamais brancher le générateur seul dans une boucle (c'est à dire sans résistance électrique pour le protéger) car il est alors en court-circuit et risque d'être détruit.

Ne jamais toucher au montage lorsqu'il est sous tension !

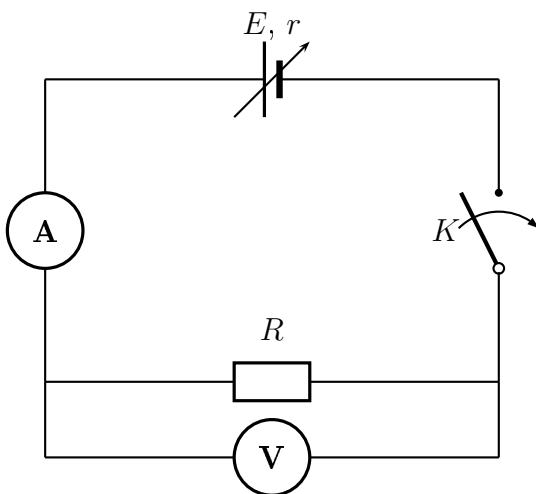
# Utilisation du multimètre



- L'appareil peut être utilisé en **voltmètre** : branchement à la borne  $V/\Omega$ . Mesure de la **tension électrique** en volts  $V$  ou sous-multiples.
- L'appareil peut être utilisé en **ohmmètre** : branchement à la borne  $V/\Omega$ . Mesure de la **résistance électrique** en ohms  $\Omega$  ou sous-multiples.
- L'appareil peut être utilisé en **ampèremètre** : branchement à la borne  $A$ . Mesure de l'**intensité électrique** en ampères  $A$ .
- L'appareil peut être utilisé en **milliampèremètre** : branchement à la borne  $mA$ . Mesure de l'**intensité électrique** en milliampères  $mA$  ou en microampères  $\mu A$ .
- La borne  $COM$  est la référence. Elle est toujours branchée directement ou indirectement à la borne - du générateur.
- L'une des trois autres bornes du multimètre est toujours branchée à la borne + du générateur.
- On place la molette en face du cadran qui correspond :
  - à la bonne fonction (ampèremètre, voltmètre, ...)
  - au bon calibre
- Par précaution, on commence toujours une mesure en se positionnant sur le calibre le plus grand (possibilité de mesurer les grandes valeurs sans saturer l'appareil ou risquer de le détériorer). Si la lecture est trop peu précise ou indique une valeur presque nulle, on change de calibre et on choisit celui qui est immédiatement plus petit. Et ainsi de suite jusqu'à ce que la valeur lue soit d'une précision suffisante.
- On se place sur une position correspondant au sigle **DC** ou = si la mesure concerne un courant continu.
- On se place sur une position correspondant au sigle **AC** ou  $\sim$  si la mesure concerne un courant alternatif.

# TP : Détermination de la caractéristique $U = f(I)$ aux bornes d'un résistor

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....



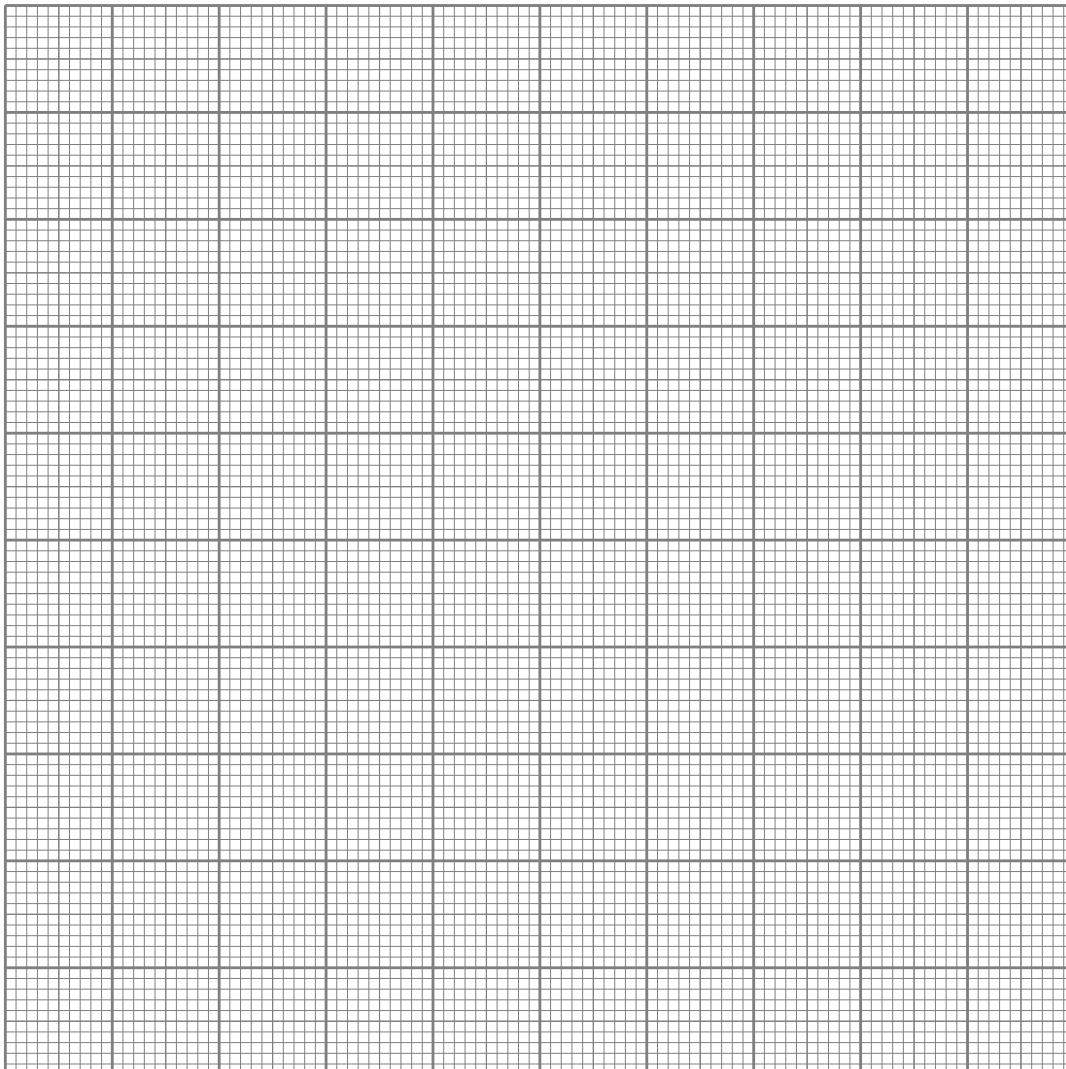
1. Observer le schéma de montage et nommer le matériel nécessaire ainsi que les éventuels réglages.
2. Compléter le schéma de montage en précisant la flèche de tension ( $U$ ) aux bornes de  $R$  et celle de courant ( $I$ ).
3. Compléter le schéma de montage en précisant les bornes des appareils de mesure.
4. Réaliser ce montage en suivant les consignes données oralement et notamment en vérifiant bien que les instruments de mesures soient correctement réglés.

**Rappel :** Il faut toujours attendre que le professeur vienne vérifier le montage avant de le mettre sous tension !

5. Faire varier la tension du générateur réglable  $U$ . Mesurer la tension  $U$  et l'intensité du courant électrique  $I$ . On commencera les 20 mesures à  $U = 0 \text{ V}$  et on les terminera à  $U = 10 \text{ V}$ .

$U \text{ (V)}$									
$I \text{ (.....)}$									
$U \text{ (V)}$									
$I \text{ (.....)}$									

6. Choisir une échelle convenable et tracer les points de mesure ainsi que la caractéristique du résistor  $U = f(I)$  ( $U$  en fonction de  $I$  :  $U$  en ordonnée et  $I$  en abscisse).



7. Déterminer la pente (ou coefficient directeur)  $\alpha$  de la droite. Préciser son unité.  
8. Comparer  $\alpha$  avec la valeur de la résistance  $R$  lue grâce au code des couleurs ou grâce à l'indication numérique inscrite dessus.  
9. Énoncer en conclusion la loi qui relie les trois grandeurs physiques : intensité ( $I$ ), tension ( $U$ ) et résistance ( $R$ ) en français sur les pointillés et sous une forme mathématique dans l'encadré.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## Loi d'Ohm

*Cette loi est à connaître par cœur.*

# TP : Association de conducteurs ohmiques

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

## Objectifs

- Vérifier les relations d'association de conducteurs ohmiques en série et en parallèle.

### I. Association série

On réalise l'association en série de deux conducteurs ohmiques  $R_1$  et  $R_2$ .

On alimente cette association par un générateur de tension réglable  $U$ .

On mesure la tension  $U_1$  aux bornes de  $R_1$ ,  $U_2$  aux bornes de  $R_2$  ainsi que la tension  $U$  aux bornes du générateur et le courant  $I$  dans le circuit.

1. Faire le schéma du montage en faisant apparaître les tensions et les courants avec les conventions habituelles, ainsi qu'en précisant les bornes des appareils de mesure.

2. Réaliser le montage et le montrer au professeur avant mise sous tension. Mesurer les grandeurs indiquées plus haut.

$U$ (V)										
$I$ (A)										
$U_1$ (V)										
$U_2$ (V)										
$U_1 + U_2$										

3. Calculer  $U_1 + U_2$ . Comparer à  $U$ . Conclure.
4. Tracer  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U$  et  $U_1 + U_2$  en fonction de  $I$ .
5. Donner la valeur de :
  - $R_1 = \dots$
  - $R_2 = \dots$
  - $R = \dots$
6. Calculer  $R_1 + R_2$ . Conclure.

## II. Association parallèle

On réalise l'association en parallèle de deux conducteurs ohmiques  $R_1$  et  $R_2$ .  
 On alimente cette association par un générateur de tension réglable  $U$ .  
 On mesure le courant  $I_1$  traversant le conducteur ohmique de résistance  $R_1$ ,  $I_2$  celui traversant  $R_2$  ainsi que la tension  $U$  aux bornes du générateur et le courant  $I$  qu'il débite.

1. Faire le schéma du montage en faisant apparaître les tensions et les courants avec les conventions habituelles, ainsi qu'en précisant les bornes des appareils de mesure.

2. Réaliser le montage et le montrer au professeur avant mise sous tension. Mesurer les grandeurs indiquées plus haut.

$U$ (V)										
$I$ (A)										
$I_1$ (A)										
$I_2$ (A)										
$I_1 + I_2$										

3. Calculer  $I_1 + I_2$ , comparer à I. Conclure.
4. Tracer  $U$  en fonction de  $I$ ,  $U$  en fonction de  $I_1$ ,  $U$  en fonction de  $I_2$  et  $U$  en fonction de  $I_1 + I_2$ .
5. Donner la valeur de :
  - $R_1 = \dots$
  - $R_2 = \dots$
  - $R = \dots$
6. Calculer  $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ . Conclure.

### Résumé : association série ou parallèle de conducteurs ohmiques

# Générateurs et récepteurs



# Générateurs et récepteurs

## I. Conventions

Dessinez un générateur (dipôle  $D_1$ ) alimentant une résistance  $R$  (dipôle  $D_2$ ).



Fléchez le courant sortant du générateur ainsi que la tension à ses bornes.

Que remarquez-vous sur l'orientation des flèches de tension et de courant ?

Pour le générateur la flèche tension est ..... que la flèche courant : c'est la **convention générateur**.

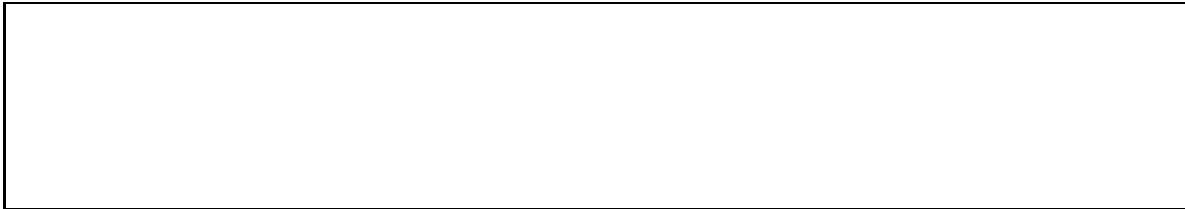
Pour la résistance la flèche courant et la flèche tension sont ..... : c'est la **convention récepteur**.

## II. Les récepteurs

Les récepteurs les plus usuels sont :

- .....
- .....
- .....
- ...

Donnez le symbole de ces 3 récepteurs.



### A. Résistor

#### 1. Loi d'Ohm

D'après la loi d'Ohm on a : .....

Dans quelle convention obtient-t'on cette relation ?

.....

Rappelez le symbole d'un résistor et fléchez la tension et le courant dans cette convention.

Tracez la caractéristique  $U = f(I)$  ( $U$  en fonction de  $I$  c'est à dire  $U$  en ordonnées et  $I$  en abscisses)

Que devient la loi d'Ohm si on change de convention ?

.....

$R$  est la résistance du conducteur ohmique.

On définit aussi la conductance  $G$  : .....

La conductance s'exprime en siemens ( $S$ ) ou en mho ( $\Omega$ ).

## 2. Étude d'un rhéostat

Donnez le schéma d'un rhéostat.

La borne  $C$  est appelée le curseur du rhéostat.

On veut obtenir à l'aide d'un rhéostat une résistance variable. Quelles bornes doit-on brancher ?

.....

Comment varie la résistance entre ces deux bornes lorsque l'on éloigne le curseur ?

.....

Remarque : si on augmente la section du fil la résistance diminue ( $R$  est proportionnelle à  $\frac{1}{S}$ )

À partir de ces remarques donnez une relation entre

- la résistivité  $\rho$  du fil (en  $\Omega \cdot m$ )
- la longueur  $l$  du fil (en  $m$ )
- la section  $S$  du fil (en  $m^2$ )

.....

## B. Association de conducteur ohmiques

### 1. En série

$$R_{\text{série}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Démontrez ceci au dos.

### 2. En dérivation

$$\frac{1}{R_{\text{parallèle}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Démontrez ceci au dos.

## C. Autres récepteurs linéaires

On étudie en convention récepteur un électrolyseur (ou un moteur).

La relation entre  $U$  et  $I$  est donnée par la loi d'Ohm qui dans ce cas s'énonce :

$$U = E' + r'I$$

- $U$  est la tension aux bornes du récepteur (en V)
- $I$  est le courant traversant le récepteur (en A)
- $E'$  est la force contre électromotrice (fcem) (en V)
- $r'$  est la résistance interne (en  $\Omega$ )

Tracez sa caractéristique  $I - U$  ( $U$  en fonction de  $I$ )



On réalisera cette expérience en séance de travaux pratiques.

### III. Les générateurs

Il existe deux types de générateurs :

- .....
- .....
- .....

#### A. Générateurs idéaux de tension

Un générateur idéal de tension fournit à ses bornes une tension constante quelque soit le courant qu'il doit fournir.

Dessinez son symbole et tracez sa caractéristique.

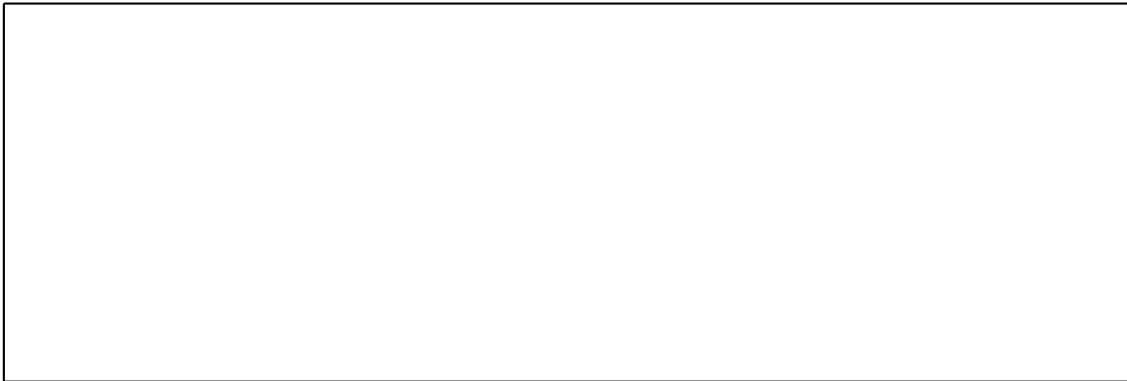


Un tel générateur à une résistance interne nulle (ce qui justifie d'ailleurs son symbole avec un fil connecté au reste du circuit).

#### B. Générateurs idéaux de courant

Un générateur idéal de courant délivre un courant constant quelque soit la tension qu'il doit fournir.

Dessinez son symbole et tracez sa caractéristique.



Un tel générateur à une résistance interne infini (ce qui justifie d'ailleurs son symbole avec un fil déconnecté du reste du circuit).

### C. Générateurs réels

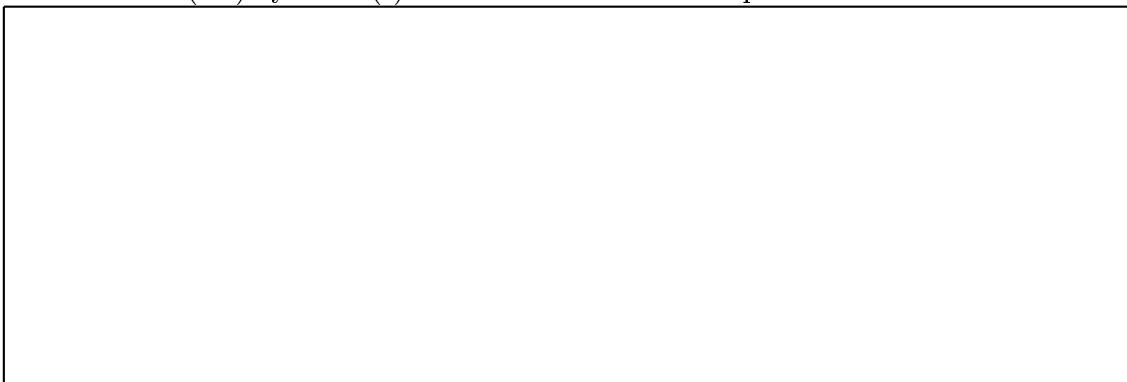
Un générateur réel comporte des fils dont la résistance entraîne des chutes de tension non négligeable.

La tension aux bornes d'un générateur est donc de la forme :

$$U = E - rI$$

- $U$  est la tension aux bornes du générateur (en  $V$ )
- $I$  est le courant délivré par le générateur (en  $A$ )
- $E$  est la force électromotrice ou tension à vide du générateur (en  $V$ )
- $r$  est la résistance interne (en  $\Omega$ )

Dessinez son (ses) symbole(s) et tracez sa caractéristique.



## IV. Puissance et énergie

### A. Puissance et convention

À chaque instant la puissance instantanée  $p(t)$  fournit par un générateur (étudié en convention générateur) délivrant un courant  $i(t)$  sous une tension  $u(t)$  vaut :

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

- $p$  : puissance instantanée en watt ( $W$ )
- $u$  : tension ( $V$ )
- $i$  : courant ( $A$ )

**Remarque** : notez qu'une grandeur dépendant du temps est en minuscule.

En courant continu  $u(t) = U = \text{constante}$  et  $i(t) = I = \text{constante}$  donc  $P = U \cdot I$

**Remarque** : en majuscule car c'est indépendant du temps

Avec la convention générateur,

- si  $ui > 0$ , le dipôle est .....

- si  $ui < 0$ , le dipôle est .....

Avec la convention générateur,

- si  $ui > 0$ , le dipôle est .....
- si  $ui < 0$ , le dipôle est .....

## B. Puissance et énergie

Un générateur délivre un courant  $I$  sous une tension  $U$ ,  
il fournit donc une puissance .....

Remarque : le watt ( $W$ ) est l'unité légale de puissance mais on exprime aussi la puissance en cheval 1 ch = 736 W)

Lorsqu'il fonctionne pendant un temps  $\Delta t$ ,  
il fournit une énergie .....

## C. Puissance dissipée dans un conducteur ohmique

Dans un résistor, la puissance dissipée vaut :

.....

ou

.....

Cette dissipation de puissance porte le nom d' .....

## D. Rendement d'un générateur

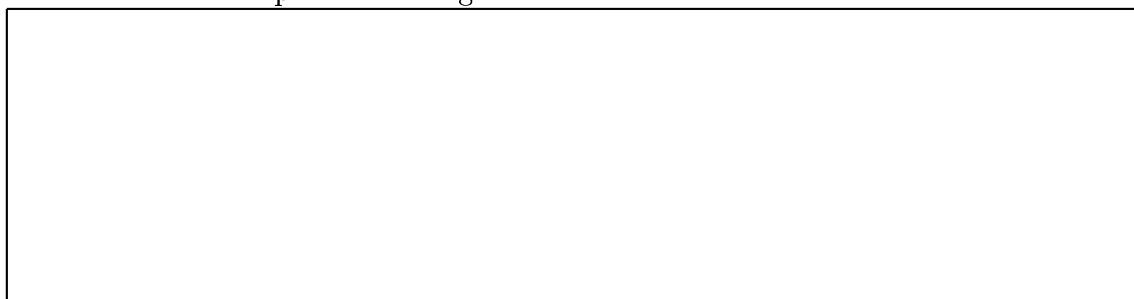
Pour un générateur (une pile par exemple) on a  $U = E - rI$ .

En multipliant par  $I$  on a : .....

Soit .....

Le générateur fournit au circuit la puissance ..... : c'est la puissance utile.  
Le générateur fournit à l'environnement sous forme de pertes thermiques la puissance .....

Ces puissances résultent de la puissance chimique stockée par la pile .....  
Dessinez l'arbre de puissance du générateur.



On appelle rendement et on note  $\eta$  le rapport de la puissance utile sur la puissance absorbée par un convertisseur

$$\eta = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance absorbée}}$$

Pour un générateur

la puissance utile c'est : .....  
la puissance absorbée vaut : .....  
donc le rendement vaut : .....

### E. Rendement d'un récepteur linéaire

Pour un récepteur linéaire (moteur ou électrolyseur) on a  $U = E' + r'I$ .

En multipliant par  $I$  on a : .....

Soit .....

Le récepteur reçoit la puissance ..... : c'est la puissance .....

Il fournit à l'environnement sous forme de pertes thermiques la puissance .....

Il transforme la puissance absorbée en puissance .....

#### 1. Électrolyseur

Dans le cas d'un électrolyseur, la puissance électrique reçue est transformée en puissance chimique qui permet l'obtention aux électrodes de dioxygène ( $O_2$ ) et de dihydrogène ( $H_2$ )

Dessinez l'arbre de puissance de l'électrolyseur.

Le rendement de l'électrolyseur est donc : .....

#### 2. Moteur

Dans le cas d'un moteur la puissance  $E'I$  est la somme de la puissance mécanique utile et de la puissance perdue par d'autres phénomènes que l'effet Joule (frottements mécaniques par exemple)

Dessinez l'arbre de puissance du moteur.



# TP : Caractéristique d'une pile

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

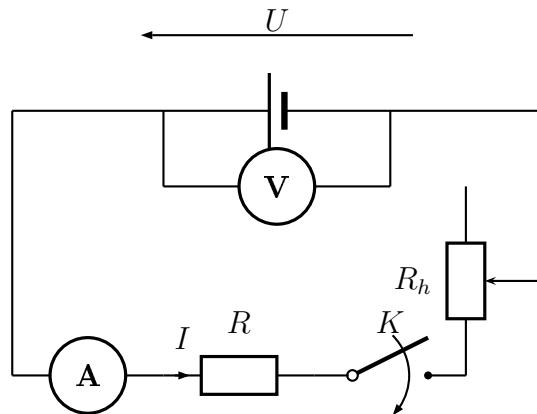
## Objectifs

- Tracer la caractéristique  $U = f(I)$  d'une pile.
- Déterminer sa force électromotrice  $E$  et sa résistance interne  $r$

## Matériel

- pile 1,5 V
- 2 multimètres
- 1 interrupteur  $K$
- 1 rhéostat  $R_h \leq 100 \Omega$
- 1 résistance de protection  $R = 10 \Omega$

## I. Montage



## II. Manipulations

1. Préciser les bornes des appareils de mesure puis réaliser le montage et demander au professeur de le vérifier avant mise sous tension.
2. Ouvrir l'interrupteur  $K$ . Mesurer  $U$ .
3. Placer le rhéostat sur sa plus grande valeur  $R_{h\max}$  (plus grande longueur de conducteur). Fermer l'interrupteur  $K$ . Mesurer  $U$  et  $I$ . Renouveler ces 2 mesures pour des valeurs plus élevées de  $I$  en diminuant  $R_h$  (en diminuant la longueur de conducteur dans le rhéostat).

$I$ (mA)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$U$ (V)									

## III. Résultats

1. Tracer la caractéristique  $U = f(I)$  de la pile.
2. On obtient une droite décroissante ne passant pas par l'origine (fonction affine)  
On vérifie la **loi d'Ohm pour un générateur**  $[U = E - rI]$ .

$E$  est .....

$r$  est .....

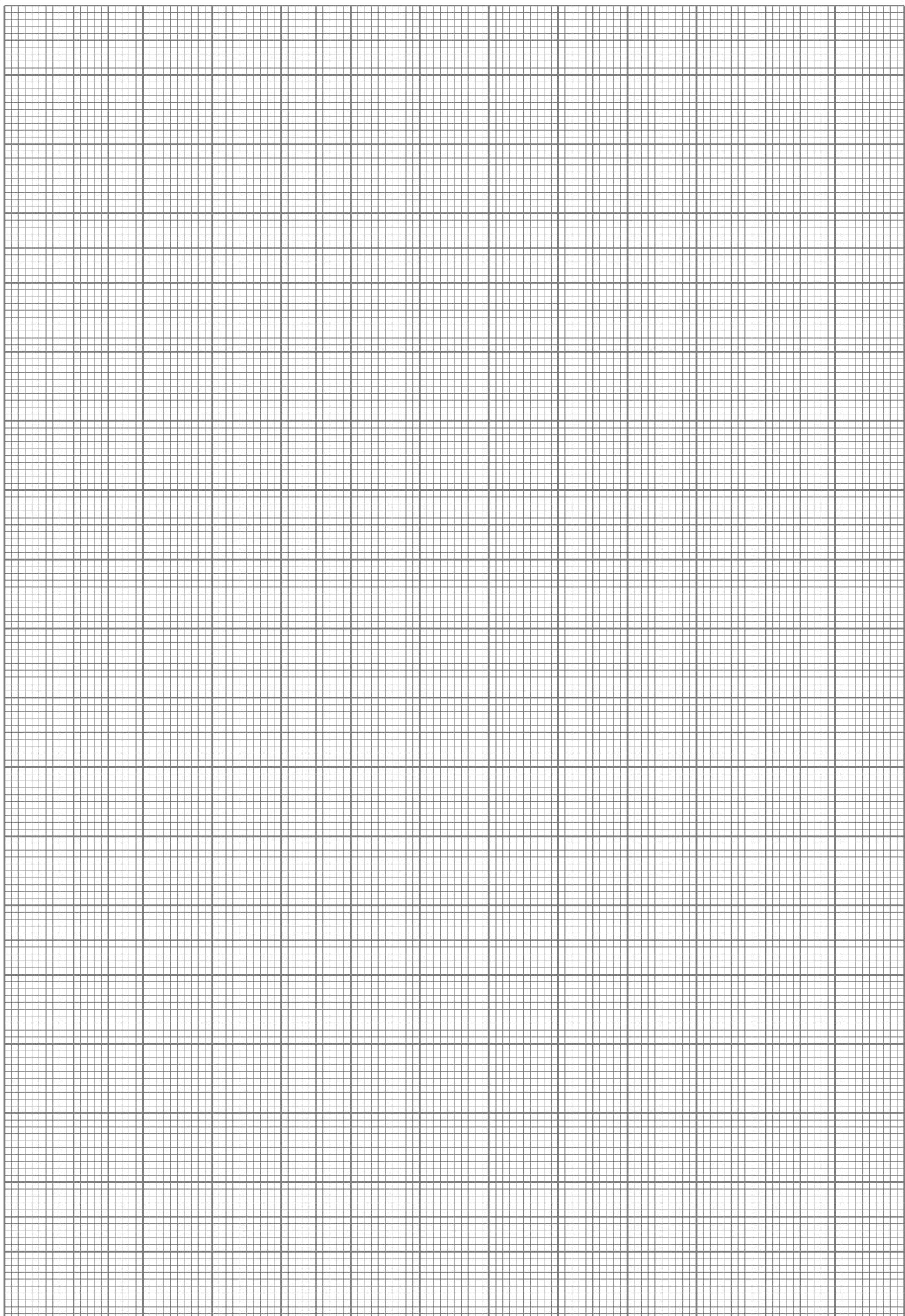
Lorsque  $I = 0$  A,  $U = \dots$  : c'est la ....., notée

en abrégé ..... Elle vaut  $E = \dots$  V

Déterminer le coefficient directeur de la droite :

.....

En déduire la résistance interne de la pile :  $r = \dots$   $\Omega$



# TP : Étude d'un électrolyseur

Caractéristique d'un récepteur électrique

NOM : ..... Prénom : ..... Classe : .....

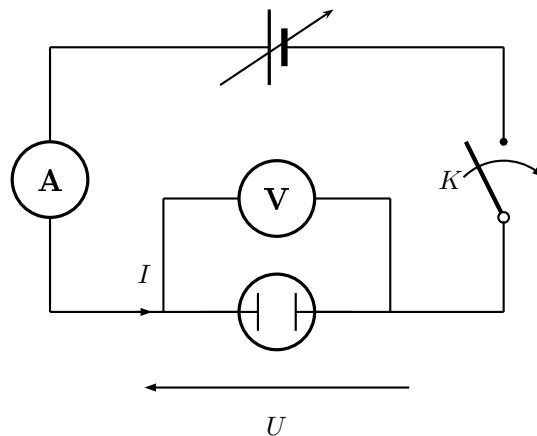
## Objectifs

- Tracer la caractéristique  $U = f(I)$  d'un récepteur électrique (un électrolyseur par exemple).
- Déterminer sa force contre électromotrice  $E'$  et sa résistance interne  $r'$

## Matériel

- 1 générateur de tension continue variable 0-30 V limiteur de courant 0,5 A
- 1 électrolyseur
- 1 solution d'acide sulfurique  $2H^+ + SO_4^{2-}$  à  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$
- 2 multimètres
- 1 interrupteur
- 2 tubes à essai
- des gants de protection

## I. Montage



## II. Manipulations

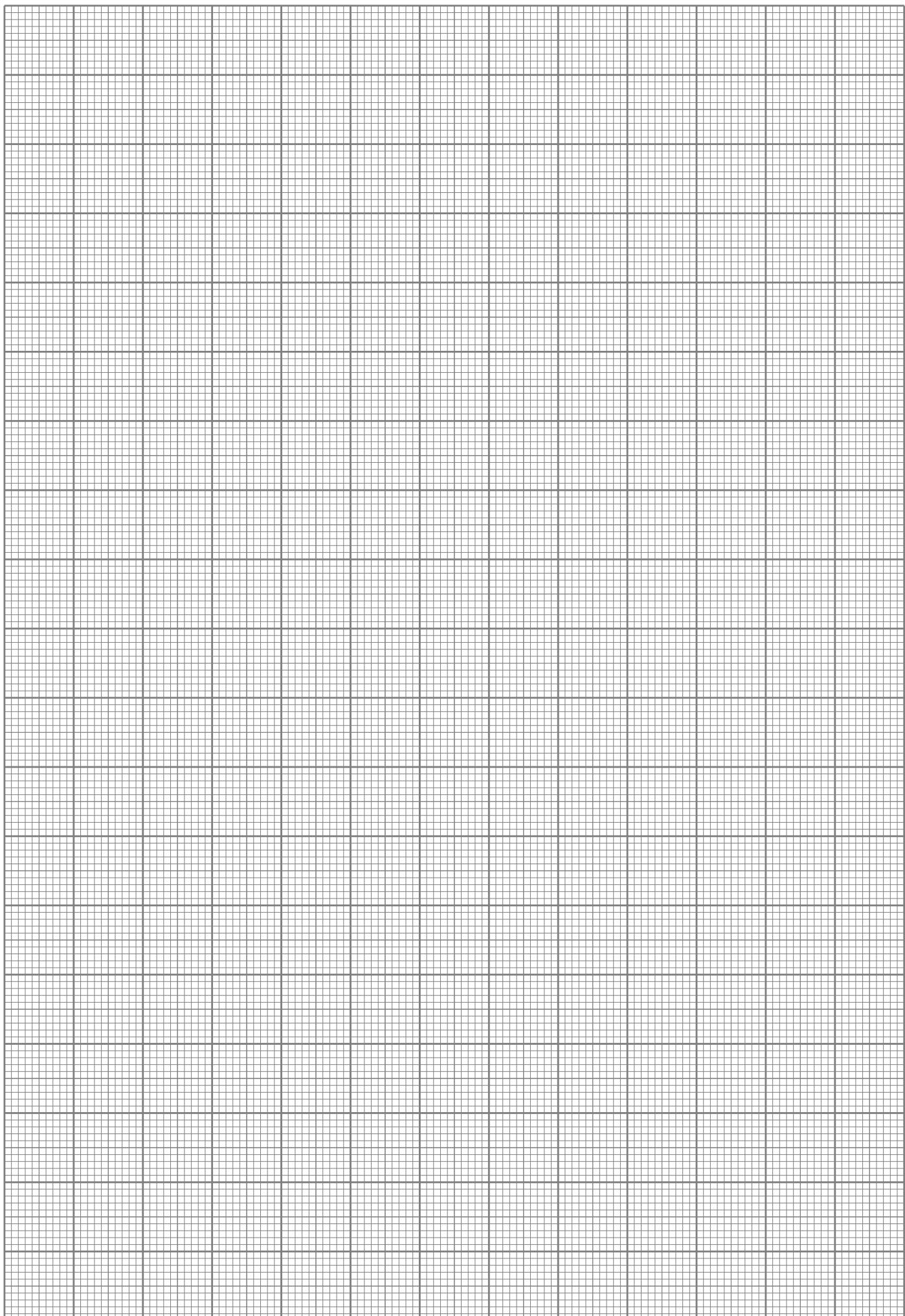
1. Réaliser le circuit électrique.
2. Mettre les gants et remplir *avec précaution* la cuve de l'électrolyseur avec la solution électrolytique *légèrement* au dessus de niveau des électrodes.
3. Remplir 2 tubes à essai et les retourner au dessus des 2 électrodes.
4. Appliquer une tension  $U$  proche de 0 V et relever la valeur  $I$  de l'intensité du courant électrique traversant l'électrolyseur.
5. Renouveler la mesure pour  $U$  variant de 0 V jusqu'à  $U = 9 \text{ V}$  par pas de 1 V et compléter le tableau ci-dessous.

## III. Mesures

$U \text{ (V)}$										
$I \text{ (...)}$										

## IV. Représentation graphique et conclusions

1. Tracer la caractéristique  $U = f(I)$ .
2. Modéliser la partie linéaire de la caractéristique de l'électrolyseur.
3. Déduire la résistance interne  $r'$  de l'électrolyseur ainsi que sa force contre électromotrice  $E'$ .
4. Donner le schéma équivalent de l'électrolyseur.
5. L'électrode reliée à la borne + est appelée l'anode. L'électrode reliée à la borne - est appelée la cathode. Au dessus d'une des électrodes le gaz occupe 2 fois plus de volume qu'au dessus de l'autre. Indiquer sur quelle électrode le dégagement gazeux est le plus important. De quel gaz s'agit-il ? Comment le mettre en évidence ?
6. Indiquer quel gaz est recueilli au dessus de l'autre électrode. Comment le mettre en évidence ?



# Électrostatique

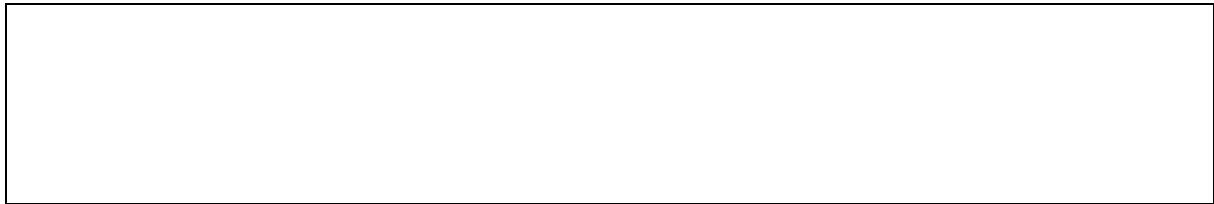


# Champ électrique et force électrostatique

On impose aux bornes du montage la tension continue positive  $U_{AB}$   
2 plaques planes parallèles conductrices  
isolant électrique

## I. Champ électrique $\vec{E}$

**Expérience :** On place des grains de riz sur la surface d'un récipient rempli l'huile. Ce récipient est placé entre les plaques conductrices alimentées sous haute tension.



Il existe entre les plaques du condensateur un champ électrique représenté par le vecteur .....  
 $\vec{E}$  est une grandeur vectorielle.

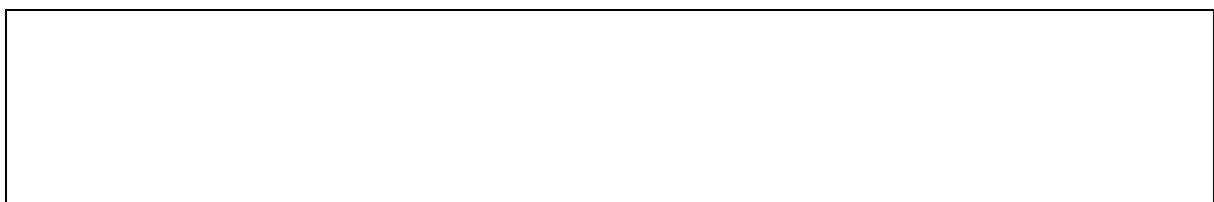
- norme  $\|\vec{E}\| = \dots$
- direction  $\dots$
- sens  $\dots$

L'unité du champ électrique est le .....  
Soit  $\vec{n}_{PN}$  un vecteur unitaire ( $\|\vec{n}_{PN}\| = 1$ ) perpendiculaire aux plaques et orienté de  $P$  vers  $N$ .

.....

## II. Champ disruptif. Tension de claquage

**Expérience :** montrer le claquage dans l'air avec la machine de Wimshurst.



Lorsque l'on augmente la tension électrique  $U$ , le champ électrique  $E$  augmente. À partir d'une certaine valeur du champ électrique, le diélectrique n'est plus isolant ; il y a apparition d'un **arc électrique**.

Ce champ électrique maximal pour un diélectrique donné est appelé champ disruptif.

Diélectrique	air sec	papier imprégné
Champ disruptif $E_d$ ( $kV.cm^{-1}$ )	....	....

### III. Force électrostatique

**Expérience :** carillon électrostatique



- Deux charges électriques de signe contraire s'attirent.
- Deux charges électriques de même signe se repoussent.

Le pendule subit une force  $\vec{F}$  :

.....

**Vérification :**

- si  $q > 0$ ,  $\vec{F}$  et  $\vec{E}$  sont dans .....
- si  $q < 0$ ,  $\vec{F}$  et  $\vec{E}$  sont dans .....

**Application :** dans un électrolyte  $\vec{F} = q\vec{E}$

- $\vec{F}$  vers l'électrode positive pour les .....
- $\vec{F}$  vers l'électrode négative pour les .....

### IV. Énergie électrique

#### A. Énergie potentielle électrique d'une charge $q$ dans un champ électrique

Une charge  $q$  placée dans un champ électrique en un point où le potentiel est  $V$ , possède de l'énergie appelée énergie potentielle électrique :

.....

- énergie potentielle électrique  $W_e$  en Joule ( $J$ )
- charge  $q$  en coulomb ( $C$ )
- potentiel électrique  $V$  en volt ( $V$ )

Pour un électron,  $q =$  .....

**B. Variation de l'énergie potentielle d'un électron à la traversée du dipôle AB**

Considérons un électron qui traverse un dipôle récepteur AB.

L'électron se déplace de  $B$  vers  $A$ .

En  $B$ , son énergie potentielle est :  $qV_B = -eV_B$ .

En  $A$ , son énergie potentielle est :  $qV_A = -eV_A$ .

L'énergie potentielle a diminué de

**C. Énergie échangée entre un courant d'intensité  $I$  et un dipôle AB pendant la durée  $\Delta t$** 

On rappelle la définition du courant électrique :

L'énergie électrique cédée par l'électron au dipôle est

On en déduit donc :

- $W_e$  énergie électrique en joule ( $J$ )
- $P$  puissance électrique en watt ( $W$ )
- $U$  tension en volt ( $V$ )
- $I$  intensité en ampère ( $A$ )
- $\Delta t$  durée en seconde ( $s$ )

## V. Applications

### A. Accélérer des particules

### B. Dévier des particules

### C. Exemple : l'oscilloscope

◆ **Intérêt du champ électrique.** Le champ électrique est important en physique. Il permet d'accélérer, de ralentir, de dévier des porteurs de charges (électrons, protons, ions).

Tout oscilloscophe possède une paire de plaques verticales  $x'x$  et une paire de plaques horizontales (deux, s'il est bicourbe)  $y'y$ .

Entre ces plaques des champs électrostatiques variables avec le temps imposent au faisceau d'électrons des déviations horizontales et verticales (fig. 7.18).

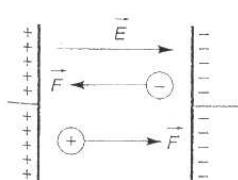


Figure 7.17. Représentation de la force électrostatique qui exerce sur une charge  $q$  placée dans un champ électrique  $E$ .

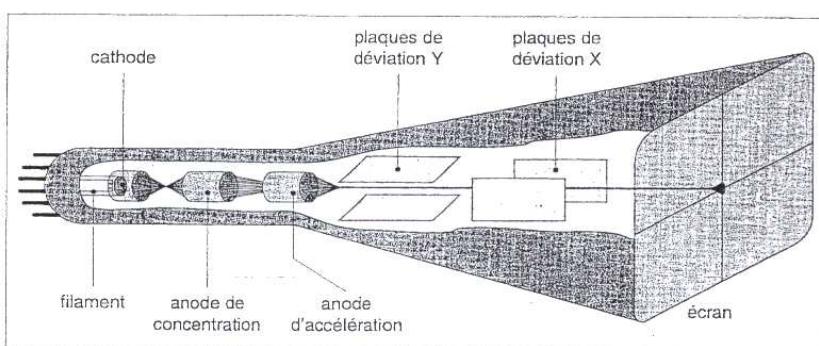


Figure 7.18. Déviation horizontale et verticale dans un oscilloscophe.

# Électrochimie



# TP : Étude de piles

## Objectifs

- déterminer expérimentalement la polarité d'une pile
- mesurer la force électromotrice d'une pile
- étudier l'influence de la concentration de l'un des cations métalliques sur la force électromotrice.

## Matériel

- solution à  $c = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  de
  - sulfate de cuivre
  - nitrate de fer
  - nitrate de plomb
- solution de sulfate de cuivre  $c = 1 \text{ mol.L}^{-1}$
- solution de sulfate de zinc de concentrations :  $1 \text{ mol.L}^{-1}$ ;  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ ;  $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$
- électrodes métalliques de cuivre, zinc, fer, plomb
- ponts salins
- multimètre

## I. Manipulations

### A. Réalisation des piles

1. Réaliser les trois demi-piles :
  - $Fe^{2+}/Fe$
  - $Pb^{2+}/Pb$
  - $Zn^{2+}/Zn$ $(c = 0,1 \text{ mol.L}^{-1})$ .
2. Associer chacunes d'elles à la demi-pile  $Cu^{2+}/Cu$ .
3. Déterminer la polarité de chacune des piles réalisées.
4. Mesurer la force électromotrice de chacune des piles.
5. Préciser pour chaque pile les demi-équations électroniques et l'équation de fonctionnement.
6. **Remarque** : bien décaper les lames métalliques avant chaque utilisation.

Pile	Électrode +	Électrode -	fem (V)	Demis-équations	Équation

## B. Influence de la concentration $[Zn^{2+}]$ sur la force électromotrice d'une pile Daniell

La pile Daniell est constituée des deux demi-piles  $Zn^{2+}/Zn$  et  $Cu^{2+}/Cu$ .

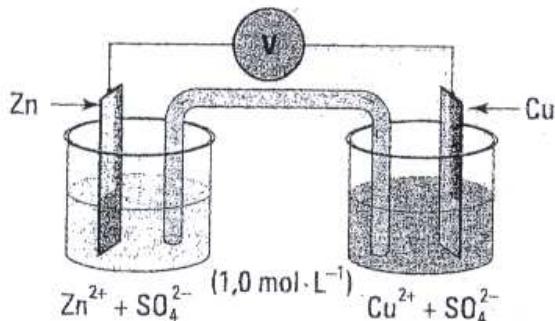


FIG. 1 – Pile Daniell

Réaliser trois piles avec une solution de sulfate de cuivre  $c = 1 \text{ mol}.L^{-1}$  et une solution de sulfate de zinc :

- $c_1 = 1 \text{ mol}.L^{-1}$
- $c_2 = 0,1 \text{ mol}.L^{-1}$
- $c_3 = 0,01 \text{ mol}.L^{-1}$

$[Cu^{2+}] (\text{mol}.L^{-1})$	1,0	1,0	1,0
$[Zn^{2+}] (\text{mol}.L^{-1})$	1,0	0,1	0,01
<i>f.e.m.</i> (V)			

## II. Conclusions

1. Quel type de réaction se produit sur l'électrode positive ?
2. Quel type de réaction se produit sur l'électrode négative ?
3. Quel est l'influence de la concentration en cation métallique sur la f.e.m. ?

# Radioactivité



# TP : Utilisation d'un compteur

## C.R.A.B.

### Objectifs

- Montrer que la désintégration radioactive a un caractère aléatoire
- Comparer l'absorption des électrons et des rayons  $\gamma$  par différents matériaux et pour différentes épaisseurs

### Matériel

- compteur C.R.A.B.
- source radioactive
- écrans en plomb, en aluminium

## I. Présentation du dispositif expérimental

C.R.A.B. signifie compteur de radioactivité  $\beta$  et  $\gamma$ .

L'appareil comporte

- une source radioactive en césum 137 qui émet des électrons et des rayons  $\gamma$ . Sa période est de 30 ans et son activité initiale de  $3.10^5 \text{ Bq}$ .
- un compteur Geiger-Müller qui détecte les rayons  $\gamma$  tout comme les rayons X.
- un circuit électrique d'amplification et de comptage des désintégrations.
- une série d'écrans en plomb et en aluminium de différentes épaisseurs.

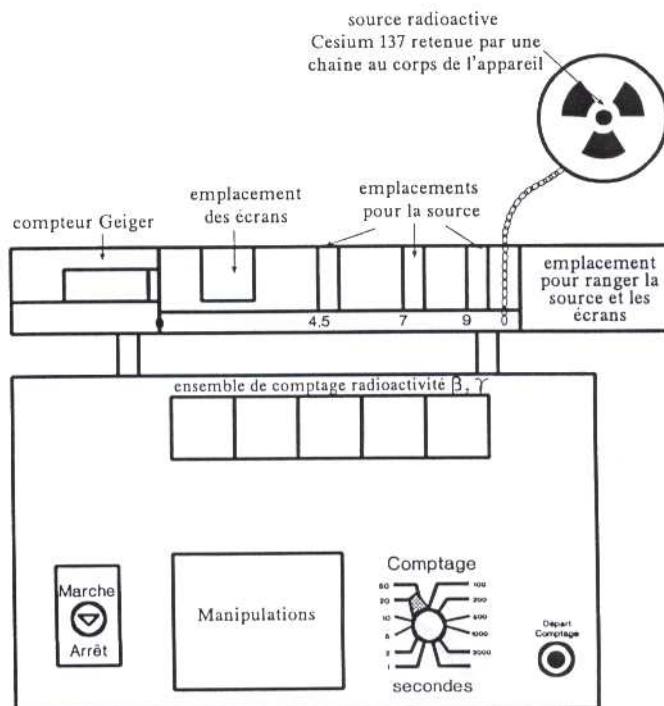


FIG. 1 – Compteur C.R.A.B.

On peut, à l'aide de cet appareil, déterminer le nombre de désintégrations pendant une durée donnée (1, 2, 6, 10, 20, 50, 100, 200, 600, 1000, 2000 secondes)

## II. Caractère aléatoire d'une désintégration radioactive

### A. Questions préliminaires

#### 1. Comportement individuel d'un noyau

1. Quel est le symbole du noyau de césium ?
2. Les noyaux de césium sont radioactifs, ils donnent par désintégration des noyaux de baryum. Dans 7 % des cas le noyau de baryum formé est dans l'état fondamental. Dans 93 % des cas, il passe par un état excité avant de se trouver dans son état fondamental.
  - (a) Écrire les équations des réactions nucléaires correspondant à ces deux cas.
  - (b) De quels types de désintégrations radioactives s'agit-il ?
3. La demie vie du césium 137 est de 30 ans. Peut-on prévoir la durée de vie d'un noyau donné ?
4. Quelle est la signification de la demie-vie en terme de probabilité ?
5. Peut-on prévoir le comportement d'un noyau radioactif ?

#### 2. Comportement d'une population de noyaux

Comment va évoluer l'activité de la source radioactive jusqu'à la fin du TP.

### B. Manipulation

On ne s'intéresse ici qu'à la radioactivité  $\gamma$ . Pour ne pas avoir à tenir compte de la radioactivité  $\beta^-$  du césium, on interpose entre la source et le compteur un écran en aluminium, de 2 mm d'épaisseur, qui absorbe la totalité des électrons émis par le césium 137 mais n'absorbe pratiquement aucun photon  $\gamma$ .

On place la source radioactive à 4,5 cm du détecteur.

On lance 100 comptages d'une durée de 2 secondes. On note  $n$  le nombre de désintégrations mesurées en 2 secondes et  $f$  le nombre de fois où chaque valeur de  $n$  a été comptée. En utilisant un tableur (OpenOffice.org Calc ou Microsoft Excel par exemple), représenter l'histogramme de  $f$  en fonction de  $n$ .

### C. Questions

1. Quelle caractéristique de la radioactivité ces résultats mettent-ils en évidence ?
2. Pourquoi l'activité moyenne est-elle inférieure à celle attendue ?
3. Déterminer la valeur moyenne  $\bar{n}$  de  $n$  puis la variance  $V$  et l'écart type  $\sigma$  qui vont nous permettre d'apprécier le degré de dispersion des mesures.
4. En terme de probabilité et d'après les résultats obtenus à la question précédente, que peut-on prévoir pour la valeur de  $\bar{n}$ . Ces résultats sont-ils en accord avec l'histogramme ?

### D. Conclusion

Quelle est la différence fondamentale dans la prévision des désintégrations d'un noyau et d'une population de noyaux ?

### III. Absorption des électrons $\beta^-$ et des rayons $\gamma$ par des écrans en aluminium et en plomb

Nous disposons de plusieurs écrans en aluminium et en plomb.

#### A. Utilisation des écrans en aluminium

1. Interposer, entre la source et le détecteur, des écrans en aluminium. Pour chaque épaisseur d'écran compter sur une durée de 10 secondes les particules  $\beta^-$  et les photons  $\gamma$  émis.
2. Tracer le nombre de désintégrations en fonction de l'épaisseur de l'écran en aluminium.
3. Conclure.
4. Déterminer l'épaisseur de demi-absorption des électrons par l'aluminium.

épaisseur d'écran d'aluminium (mm)									
nombre de désintégrations comptées									

#### B. Utilisation des écrans en plomb

Les écrans en plomb arrêtent les rayons  $\gamma$  qui traversent l'aluminium sans être absorbés.

1. Placer un écran d'aluminium qui absorbera tous les électrons.
2. Placer ensuite 1,2,3 puis 4 écrans de plomb de 5 mm d'épaisseur chacun afin d'étudier l'absorption des photons  $\gamma$  par le plomb.
3. Tracer le nombre de désintégrations  $\gamma$  en fonction de l'épaisseur de l'écran en plomb.
4. Déterminer l'épaisseur de demi-absorption des rayons  $\gamma$  par le plomb.

épaisseur de l'écran de plomb (mm)					
nombre de désintégrations $\gamma$ comptées					

---

## Compléments statistiques

- Valeur moyenne arithmétique de  $n$  :  $\bar{n} = \frac{\sum_i n_i \cdot f_i}{\sum_i f_i}$
- Variance :  $V = \frac{\sum_i f_i \cdot (n_i - \bar{n})^2}{\sum_i f_i}$
- Écart-type :  $\sigma = \sqrt{V}$

# Classification périodique des éléments

**Numéro atomique**

**Masse molaire atomique en g · mol<sup>-1</sup>**

**Symbol de l'élément**

**Nom de l'élément**

**Métaux**

**Non-métaux**

**Période couche**

**Corps simples :**

- Liquide à 25 °C, 1 atm.
- Gazeux à 25 °C, 1 atm.
- obtenu par synthèse.

**Actinides**

**Lanthanides**

**1 (K)**

<b>1</b>	<b>H</b>	Hydrogène
<b>2</b>		

**2 (L)**

<b>3</b>	<b>Li</b>	Lithium
<b>4</b>	<b>Be</b>	Béryllium

**3 (M)**

<b>11</b>	<b>Na</b>	Sodium
<b>12</b>	<b>Mg</b>	Magnésium

**4 (N)**

<b>19</b>	<b>K</b>	Rubidium
<b>20</b>	<b>Ca</b>	Calcium
<b>21</b>	<b>Sc</b>	Scandium
<b>22</b>	<b>Ti</b>	Titanium
<b>23</b>	<b>V</b>	Vanadium
<b>24</b>	<b>Cr</b>	Chromé
<b>25</b>	<b>Mn</b>	Manganèse
<b>26</b>	<b>Fe</b>	Fer
<b>27</b>	<b>Co</b>	Cobalt
<b>28</b>	<b>Ni</b>	Nickel
<b>29</b>	<b>Cu</b>	Cuivre
<b>30</b>	<b>Zn</b>	Zinc
<b>31</b>	<b>Ga</b>	Gallium
<b>32</b>	<b>Ge</b>	Germanium
<b>33</b>	<b>As</b>	Arsenic
<b>34</b>	<b>Se</b>	Sélénium
<b>35</b>	<b>Br</b>	Brome
<b>36</b>	<b>Kr</b>	Krypton

**5 (O)**

<b>37</b>	<b>Rb</b>	Rubidium
<b>38</b>	<b>Sr</b>	Strontium
<b>39</b>	<b>Y</b>	Yttrium
<b>40</b>	<b>Zr</b>	Zirconium
<b>41</b>	<b>Nb</b>	Niobium
<b>42</b>	<b>Mo</b>	Molybdène
<b>43</b>	<b>Tc</b>	Téchneium
<b>44</b>	<b>Ru</b>	Ruthénium
<b>45</b>	<b>Rh</b>	Rhodium
<b>46</b>	<b>Pd</b>	Palladium
<b>47</b>	<b>Ag</b>	Argent
<b>48</b>	<b>Cd</b>	Cadmium
<b>49</b>	<b>In</b>	Indium
<b>50</b>	<b>Sn</b>	Étain
<b>51</b>	<b>Sb</b>	Antimoine
<b>52</b>	<b>Te</b>	Tellure
<b>53</b>	<b>I</b>	Iode
<b>54</b>	<b>Xe</b>	Xénon

**6 (P)**

<b>55</b>	<b>Cs</b>	Césium
<b>56</b>	<b>Ba</b>	Baryum
<b>57</b>	<b>La</b>	Lanthane
<b>72</b>	<b>Hf</b>	Hafnium
<b>73</b>	<b>Ta</b>	Tantale
<b>74</b>	<b>W</b>	Tungstène
<b>75</b>	<b>Re</b>	Rhénum
<b>76</b>	<b>Os</b>	Osmium
<b>77</b>	<b>Ir</b>	Irédium
<b>78</b>	<b>Pt</b>	Platine
<b>79</b>	<b>Au</b>	Or
<b>80</b>	<b>Hg</b>	Mercure
<b>81</b>	<b>Tl</b>	Thallium
<b>82</b>	<b>Pb</b>	Piomb
<b>83</b>	<b>Bi</b>	Bismuth
<b>84</b>	<b>Po</b>	Polonium
<b>85</b>	<b>At</b>	Astate
<b>86</b>	<b>Rn</b>	Radon

**7 (Q)**

<b>87</b>	<b>Fr</b>	Francium
<b>88</b>	<b>Ra</b>	Radium
<b>89</b>	<b>Ac</b>	Actinium
<b>104</b>	<b>Rf</b>	Rutherfordium
<b>105</b>	<b>Db</b>	Dubinium
<b>106</b>	<b>Sg</b>	Seaborgium
<b>107</b>	<b>Bh</b>	Bohrium
<b>108</b>	<b>Hs</b>	Hassium
<b>109</b>	<b>Mt</b>	Meltiurium
<b>110</b>	<b>Uun</b>	Ununium
<b>111</b>	<b>Uuu</b>	Unununium
<b>112</b>	<b>Uub</b>	Ununununium

**18**

<b>1</b>	<b>H</b>	Hydrogène
<b>2</b>	<b>He</b>	Hélium

# Devoir Surveillé

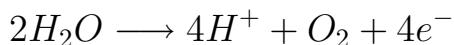
Électrochimie

Réactions nucléaires spontanées

## Exercice 4 : Électrolyseur

Le cadmium est obtenu par électrolyse d'une solution acqueuse de sulfate de cadmium ( $Cd^{2+} + SO_4^{2-}$ ) et d'acide sulfurique ( $2H^+ + SO_4^{2-}$ ). La tension aux bornes de la cuve à électrolyse vaut  $U = 3 V$  et l'intensité du courant vaut  $I = 20 kA$ .

1. Faire le schéma électrique et placer les appareils de mesure de la tension et de l'intensité.
2. Quel est le sens de déplacement des électrons ?
3. Sur quelle électrode le cadmium se dépose-t-il ? Écrire la demi-équation correspondante. Préciser s'il s'agit d'une réduction ou d'une oxydation.
4. Calculer la quantité de matière formée pendant la durée  $t$ . En déduire sa masse  $m_{Cd}$ .
5. Il se produit un dégagement gazeux à l'autre électrode, il s'agit du dioxygène suivant la demi-équation suivante :



Calculer la quantité de matière de dioxygène formée. En déduire son volume.

6. Calculer la puissance nécessaire pour préparer la masse  $m_{Cd}$ .
7. Calculer la puissance dissipée par effet Joule  $P_d$  à l'intérieur de l'électrolyseur sachant que sa résistance interne vaut  $r' = 2.10^{-6} \Omega$ .
8. Calculer sa puissance utile  $P_u$ , en déduire sa f.c.e.m.  $E'$ .
9. Calculer le rendement  $\eta$  de cet électrolyseur.

**Données :**

- $t = 965 s$
- $1 \mathcal{F} = 96500 C \cdot mol^{-1}$
- $M_{Cd} = 112,4 g \cdot mol^{-1}$
- $V_m = 22,4 L \cdot mol^{-1}$

**Exercice 5 :** Désintégration de l'iode 128

Exploiter la courbe de désintégration ci-dessous pour répondre aux questions.

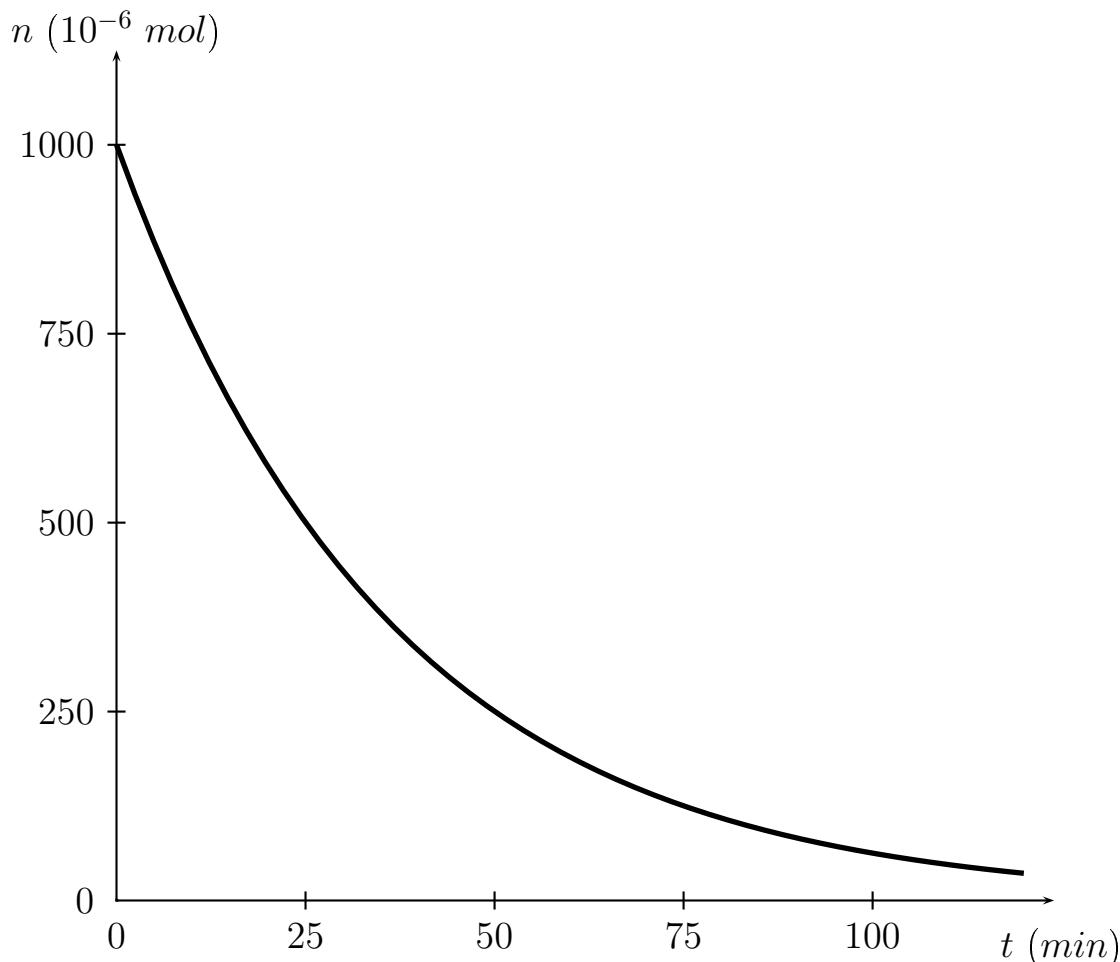


FIG. 1 – Courbe de désintégration radioactive d'un échantillon d'iode 128

- Quelle quantité de matière constituait l'échantillon d'iode 128 à l'instant  $t = 0$  ?
- Sachant qu'un noyau d'iode 128 a pour numéro atomique 53, indiquez combien de protons, de neutrons et de nucléons il contient.
- Déterminer la période radioactive de l'iode 128.
- Déduire la constante radioactive de l'iode 128.
- Quelle quantité de matière reste-t-il au bout de 50 min ?
- Comment calculer la quantité de matière restante au bout de 30 min ?

# La lumière



# La lumière

## Introduction : Qu'est-ce que la lumière ?

Il existe **deux modèles** pour décrire la lumière.

### C. Modèle ondulatoire

La lumière est assimilée à une onde électromagnétique.

### D. Modèle corpusculaire

La lumière est assimilée à des grains d'énergie qui se propagent.

## I. La lumière est une onde

La lumière est une onde électromagnétique à laquelle notre oeil est sensible.

L'émission de lumière est due à la vibration des électrons périphériques des atomes qui constituent la source.

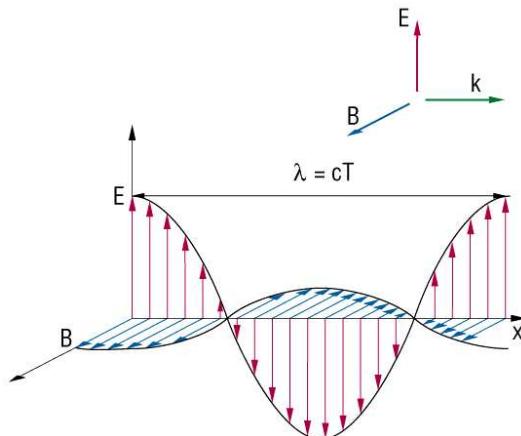


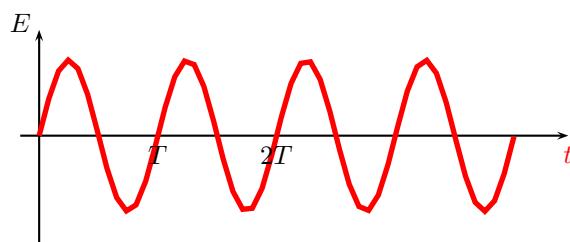
FIG. 1 – Propagation d'une onde électromagnétique

À toute onde électromagnétique correspond :

- dans le temps : une période  $T$  (période temporelle)
- dans l'espace : une longueur d'onde  $\lambda$  (période spatiale)

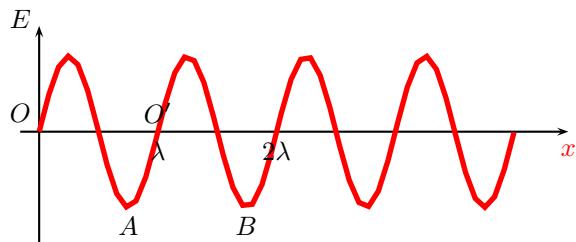
$\lambda$  est la distance parcourue par l'onde pendant la période temporelle  $T$

Sur le schéma suivant on représente l'évolution de champ électrique  $E$  en un point donné au fil du temps ( $t$ ).



On note sur ce graphique la période temporelle  $T$  (en s)  
et un de ses multiples  $2T$ .

Sur le schéma suivant on représente l'évolution de champ électrique  $E$  à un instant donné selon la position d'observation ( $x$ ).



On note sur ce graphique la période spatiale  $\lambda$  (en m)

On remarque que les points O et O' sont dans le même état vibratoire : on dit qu'ils sont en phase. Les points A et B sont également en phase.

- Une lumière monochromatique correspond à une vibration à une fréquence unique.
- En général, la lumière est la superposition de différentes longueurs d'onde.
- La lumière blanche peut être décomposée par un prisme pour former un spectre.
- Le spectre visible est le domaine de radiation pouvant être captées par notre œil.

La longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$  doit être comprise entre 400 nm (violet) et 800 nm (rouge) pour être visible par l'œil humain.

Au-dessus de 800 nm c'est le domaine de l'infra-rouge.

En dessous de 400 nm c'est le domaine de l'ultra-violet.

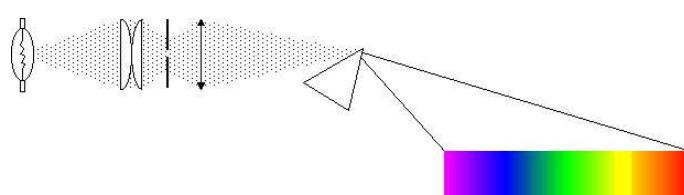


FIG. 2 – Spectre de la lumière blanche

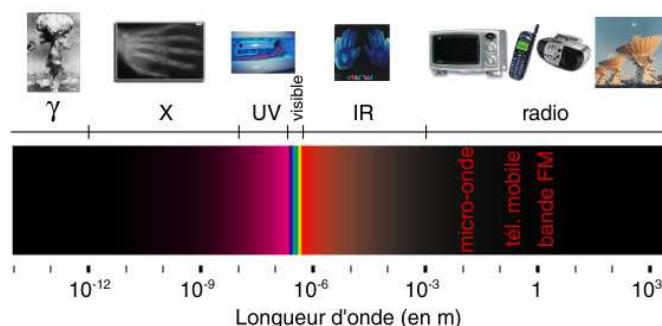


FIG. 3 – Spectre électromagnétique

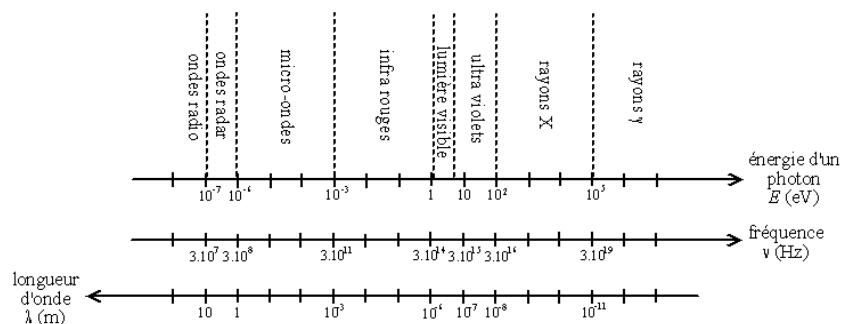


FIG. 4 – Spectre électromagnétique (résumé)

La vitesse de propagation dépend du milieu traversée.

Celui-ci est caractérisé par son indice de réfraction noté  $n$ .

$$n = \frac{c_0}{c}$$

- $c_0$  : vitesse de propagation (célérité) de la lumière dans le vide ( $c_0 \approx 3.10^8 \text{ m/s}$ )
- $c$  : vitesse de propagation de la lumière dans le milieu de propagation (en  $\text{m/s}$ )

**Remarque :**  $n$  est toujours supérieur à 1 car la vitesse de propagation dans un milieu quelconque est toujours inférieure à la vitesse de propagation dans le vide.

La longueur d'onde de la lumière  $\lambda$  (dans un milieu donné) est définie par :

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$$

- $c$  : vitesse de propagation de la lumière dans le milieu de propagation (en  $\text{m/s}$ )
- $T$  : période temporelle  $T$  (en  $\text{s}$ )
- $\nu$  : fréquence de l'onde (en  $\text{Hz}$ )

$$\nu = \frac{1}{T}$$

## II. Caractère corpusculaire de la lumière

### A. Expérience

On éclaire une plaque de zinc avec une lumière violette.

Des électrons sont arrachés à la plaque grâce à l'énergie cédée par la lumière.

Ces électrons échappent à l'emprise des atomes de zinc.

La même expérience avec une lumière rouge ne produit aucun effet (même si on prolonge l'éclairage ou si l'on éclaire plus intensément)

### B. Interprétations

La lumière ne lâche pas son énergie de manière continue mais par paquets.

Ces paquets d'énergie sont plus au moins importants selon les couleurs.

L'atome ne laisse partir un électron que si le paquet reçu possède une certaine valeur minimale.

La lumière rouge ne possède pas cette valeur minimale d'énergie (alors que la lumière violette la possède)

On peut dire que la lumière se comporte comme un flux de particules infiniment petites, sans masse ni charge appelées **photons**.

À une lumière monochromatique de fréquence  $\nu$  et de longueur d'onde  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , on associe des photons d'énergie  $E$  telle que :

$$E = h\nu$$

- $h$  : constante de Planck  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$
- $E$  : énergie en Joule ( $J$ ) ou parfois en électron-volt  
 $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$



# Spectroscopie



# Spectroscopie

## Niveaux d'énergie dans les atomes

### I. Émission de la lumière par les atomes

#### A. Observation d'un spectre obtenu à partir d'une lampe spectral

À l'aide d'un prisme, on observe le spectre obtenu à partir de différentes lampes.

- a. Lampe au sodium ( $Na$ )
- b. Lampe à vapeur de mercure ( $Hg$ )
- c. Lampe à hydrogène ( $H_2$ )
- a. Spectre obtenu avec une lampe au sodium ( $Na$ )

On observe :

deux raies jaunes très voisines (doublet) de longueur d'onde  $\lambda = 589 \text{ nm}$

- b. Spectre obtenu avec une lampe à vapeur de mercure ( $Hg$ )

On observe :

Couleur	Violette	Bleue	Verte	Jaune	Jaune	Rouge
$\lambda(\text{nm})$	404	435,8	546,1	577	579,1	615

- c. Spectre obtenu avec une lampe à dihydrogène ( $H_2$ )

On observe :

Couleur	Violette	Violette	Bleue	Jaune	Rouge
$\lambda(\text{nm})$	410	434	486,1	577	615

#### B. Conclusion

Chaque élément chimique donne un spectre dit spectre d'émission.

Il est constitué de raies dont les longueurs d'onde sont parfaitement déterminées.

Ces raies sont caractéristiques de l'élément considéré.

L'observation d'un spectre permet de déterminer l'atome présent dans la source.

### II. Mécanisme de l'émission de la lumière par un atome

#### A. Énergie d'un atome

Tout atome possède une énergie qui correspond à une distribution donnée des électrons sur les différents couches électroniques K, L, M.

Seules certaines valeurs appelées **niveaux d'énergie** sont possibles : on dit que l'énergie d'un atome est **quantifiée**.

La répartition électronique vue en Chimie correspond à l'**état stable** de l'atome dit aussi **état fondamental**.

L'énergie de l'atome est alors **minimale**, elle est notée  $E_1$ .

#### B. Passage d'un niveau d'énergie à un autre

Lorsqu'un atome se trouve placé dans un champ électrique intense (cas des lampes spectrales), il acquiert un supplément d'énergie qui se traduit par le passage d'un ou plusieurs électrons sur des couches plus éloignées du noyau.

L'atome est dans un état **instable** dit état **excité**.

Son énergie est notée  $E_2$ ,  $E_3$ , ...,  $E_i$ .

C'est l'énergie correspondant à un atome ayant perdu un ou plusieurs électrons, donc c'est un atome **ionisé**.

$E_i$  (parfois notée  $E_\infty$ ) est l'énergie d'ionisation qui par convention prend la valeur 0.

$$E_i = E_\infty = 0$$

Partant de l'état fondamental, il faut, pour ioniser un atome (faire partir un ou plusieurs électrons) fournir de l'énergie.

Sachant que l'on a pris comme référence  $E_i = 0$ , les différents états d'excitation correspondent donc nécessairement à une **énergie négative**.

$$E_1 < E_2 < \dots < E_i$$

### C. Pourquoi des raies ?

Les spectres sont les résultats des transitions d'un grand nombre d'atomes.

Or l'atome ne peut donner ou recevoir que certaines quantités d'énergie ; en conséquence il ne peut émettre que certaine radiations

quantification de l'énergie  $\implies$  raies

### D. Émission de lumière : exemple de l'atome d'hydrogène

Un atome ne peut rester qu'un temps très bref ( $10^{-8} \text{ s}$ ) dans un état excité.

Il revient rapidement à l'état fondamental en émettant, sous forme d'un photon (« grain de lumière ») l'énergie absorbée.

D'où l'émission de lumière.

**Exemple de l'atome d'hydrogène :**

Le spectre de raies de l'atome d'hydrogène est simple car l'atome d'hydrogène ne possède qu'un seul électron.

L'énergie de l'atome au niveau  $n$  est :

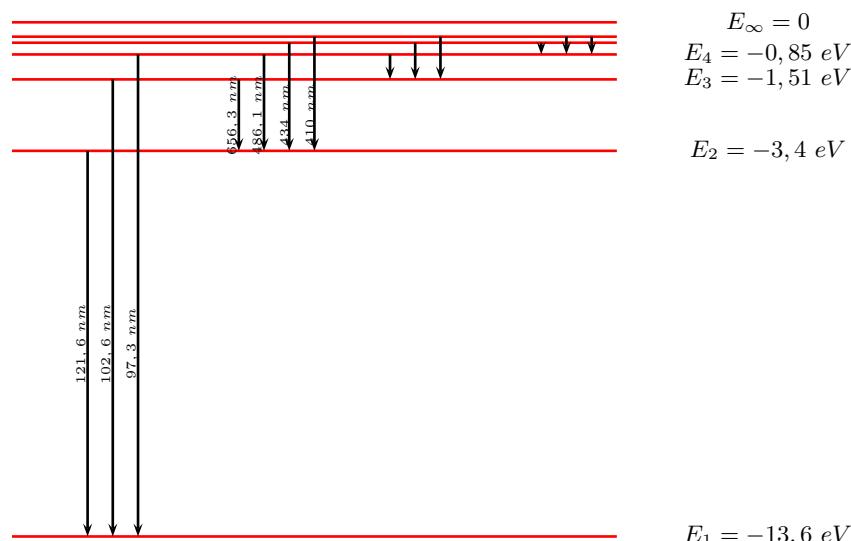
$$E_n = \frac{-13,6}{n^2}$$

- $E_n$  est exprimée en eV
- $n$  est le nombre quantique principal

Calcul des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

$n$	$E_n(\text{eV})$	État
1	-13,6	Fondamental
2	-3,4	1 <sup>er</sup> état excité
3	-1,51	2 <sup>e</sup> état excité
4	-0,85	3 <sup>e</sup> état excité
5	-0,54	4 <sup>e</sup> état excité
:	:	:
$\infty$	0	Ionisé

Représentation du niveau d'énergie de l'atome d'hydrogène



### Calcul des longueurs d'onde émises

On apporte de l'énergie en quantité suffisante pour passer l'atome d'un état ( $E_p$ ) à un autre état plus excité ( $E_n$ ) ( $E_n > E_p$  avec  $E_n < 0$  et  $E_p < 0$ ).

L'atome ne peut rester qu'un temps très bref ( $\approx 10^{-8} \text{ s}$ ) dans l'état excité.

Il revient à l'état fondamental (ou à un niveau d'énergie inférieur noté  $E_p$ ) en émettant sous forme d'un photon.

### Calcul des longueurs d'onde émises

La différence d'énergie entre les deux niveaux est :

$$\Delta E = E_n - E_p = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

- $E$  : énergie en **Joule** ( $J$ )
- $h$  : constante de Planck ( $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ )
- $\lambda$  : longueur d'onde (en  $m$ )
- $c$  : vitesse de la lumière ( $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

Exercice :

Un atome d'hydrogène étant initialement dans son état fondamental, un apport d'énergie  $\Delta E = 12,09 \text{ eV}$  le fait passer à un état excité.

Calculer ma (les) longueur(s) d'onde de la radiation émise dans les deux cas suivants :

1. l'atome revient à l'état fondamental
2. l'atome passe par le niveau intermédiaire  $E_2$  et en libérant les énergies  $E_3 - E_2$  et  $E_2 - E_1$  sous forme de photons.

Exercice : correction

$$\Delta E = E_n - E_p = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

1. l'atome revient à l'état fondamental

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{12,09 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 103 \text{ nm}$$

Exercice : correction

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

1. l'atome passe par le niveau intermédiaire  $E_2$  et en libérant les énergies  $E_3 - E_2$  et  $E_2 - E_1$  sous forme de photons.

$$\lambda_{3 \rightarrow 2} = \frac{hc}{E_3 - E_2} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{(-1,51 + 3,4) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 657 \text{ nm}$$

$$\lambda_{2 \rightarrow 1} = \frac{hc}{E_2 - E_1} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{(-3,4 - (-13,6)) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 122 \text{ nm}$$

## III. Absorption de la lumière par les atomes

### A. Observation de spectres d'absorption

On éclaire à l'aide d'une lumière blanche une substance contenue dans une cuve transparente.

On observe que le spectre obtenu est identique à celui de la lumière blanche sauf à certains endroits où on observe des bandes noires qui traduisent l'absence de certaines radiations.

L'existence de ces bandes noires s'explique par l'absorption des radiations par la substance.

Les radiations absorbées par la substance correspondent exactement aux raies émises par les atomes de cette même substance dans une lampe spectrale.

D'après <http://www.ac-rouen.fr/lycees/galilee/spectreabsorption.htm>

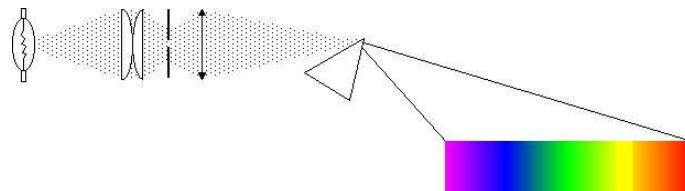


FIG. 1 – Spectre de la lumière blanche

D'après <http://www.ac-rouen.fr/lycees/galilee/spectreabsorption.htm>

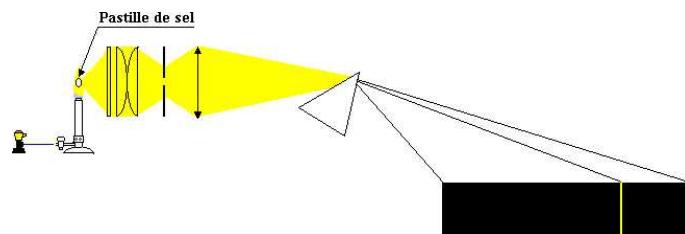


FIG. 2 – Spectre d'émission du sodium

D'après <http://www.ac-rouen.fr/lycees/galilee/spectreabsorption.htm>

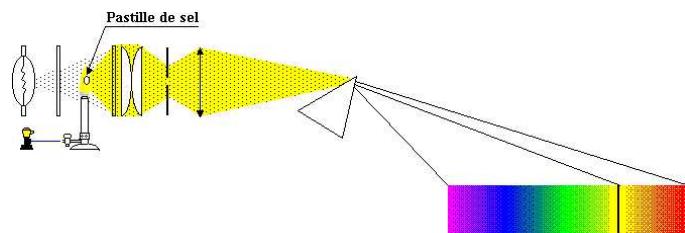


FIG. 3 – Spectre d'absorption du sodium

## B. Interprétation

Lorsqu'on fournit de l'énergie à un atome, celui-ci passe à un état d'énergie  $E_n$  supérieur à l'état fondamental en absorbant un photon de longueur d'onde  $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$  fourni par la lumière blanche.

## C. Conclusion

- Seuls les photons dont l'énergie est égale à la différence  $\Delta E = E_n - E_p$  peuvent être absorbés par l'atome.
- Les raies manquantes dans le spectre de la lumière transmise par la substance constituent le spectre d'absorption de la substance éclairée.
- Les raies d'absorption apparaissent aux même longueurs d'ondes que les raies d'émission

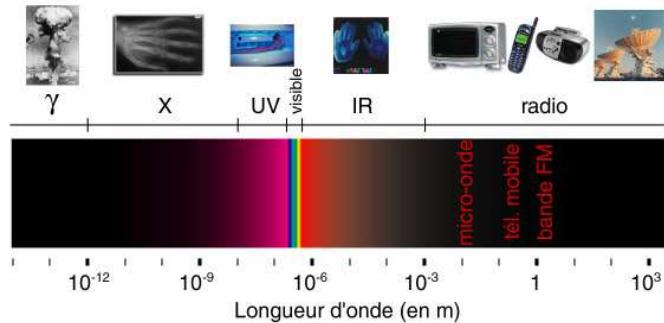
# Rayons X



# Rayons X

## I. Nature des rayons X

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques de même nature que la lumière. Ils se différencient de celle-ci par leur longueur d'onde qui est beaucoup plus petite.



Elle est de l'ordre de  $10 \text{ nm}$  ( $10^{-8} \text{ m}$ ) à  $10^{-3} \text{ nm}$  ( $10^{-12} \text{ m}$ ).

## II. Production des rayons X

### A. Tube de Coolidge

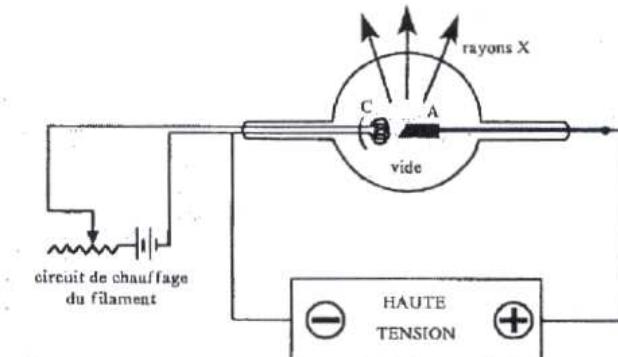


FIG. 1 – Le tube de Coolidge

Pour produire des rayons X il faut un tube à rayons X formé :

- d'un filament F
- d'une électrode A en métal (appelée anode ou anticathode)

L'ensemble est alimenté par un générateur de courant continu sous haute tension.

La différence de potentiel (tension) entre le filament F et l'électrode A permet l'arrachage des électrons qui viennent percuter l'anticathode d'où émission de rayons X.

La tension utilisée pour accélérer les électrons peut aller jusqu'à  $100 \text{ kV}$ .

Un électron peut acquérir l'énergie

$$E = eU$$

- $E$  : énergie en Joule ( $J$ )
- $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  : valeur absolue de la charge d'un électron
- $U$  : différence de potentiel (tension) en Volt ( $V$ )

Or on a vu que cette énergie est équivalente à l'énergie d'une radiation de longueur d'onde  $\lambda$  telle que :

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

On déduit donc :

$$\lambda = \frac{hc}{eU}$$

La tension  $U$  utilisée pour accélérer les électrons est réglable ce qui permet d'obtenir la longueur d'onde désirée.

## B. Mécanisme d'émission des rayons X par les atomes

Lumière	Rayons X
Les électrons <i>externes</i> changent de couche (donc de niveau d'énergie)	Les électrons <i>internes</i> changent de couche (donc de niveau d'énergie)

Les électrons arrachés à l'anticathode mettent donc en jeu une énergie plus importante dans le cas des rayons X que dans le cas de la lumière.

### a. Émission de rayons X par les atomes de l'anticathode

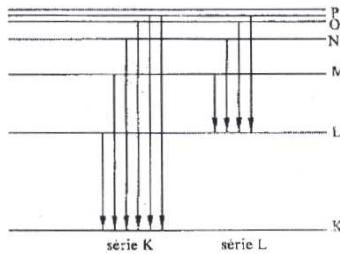


FIG. 2 – Émission de rayons X par les atomes de l'anticathode

Passage d'un électron d'une couche interne à la couche K

⇒ émission d'un photon X de la série K

Passage d'un électron d'une couche interne à la couche L

⇒ émission d'un photon X de la série L

### b. Anticathode en cuivre (exercice)

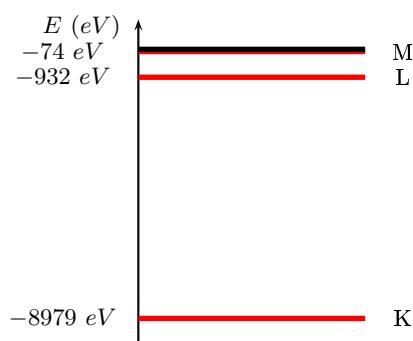
Les électrons incidents sont accélérés sous une tension de 40 kV.

Quelle est en eV et en J, l'énergie de ces électrons ?

L'énergie d'un électron incident est-elle suffisante pour arracher un électron K de l'atome de cuivre ?

Cet électron K étant arraché, un électron provenant de la couche L ou de la couche M peut prendre sa place laissée vacante au niveau K.

Déduire la valeur des deux longueurs d'onde qui seront émises.



### b. Anticathode en cuivre (correction de l'exercice)

$$\Delta E = e.U = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 40 \cdot 10^3 = 6,4 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta E = 40 \cdot 10^3 \text{ eV} = 4 \cdot 10^4 \text{ eV}$$

$$\lambda_{L \rightarrow K} = \frac{h.c}{\Delta E} = \frac{h.c}{E_L - E_K} = 154 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$\lambda_{M \rightarrow K} = \frac{h.c}{\Delta E} = \frac{h.c}{E_M - E_K} = 139 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

### III. Propriétés physico-chimiques des rayons X

#### A. Propagation des rayons X

Contrairement à la lumière, les rayons X ne subissent ni réflexion ni réfraction.  
Ils se propagent en ligne droite dans la plus part des milieux.

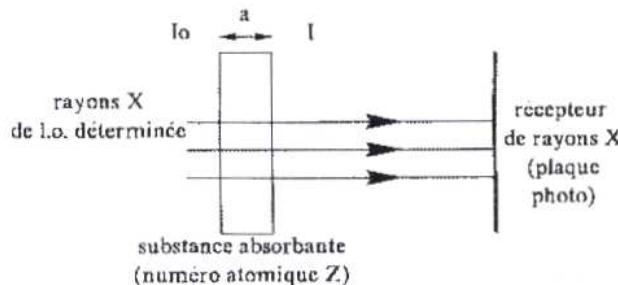


FIG. 3 – Absorption des rayons X par la matière

#### B. Absorption des rayons X par la matière

##### a. Influence de la longueur d'onde

Le tableau ci-dessous donne l'épaisseur nécessaire en millimètres pour arrêter 90% du rayonnement X.

Substance	Longueur d'onde		
	$\lambda = 0,03$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,23$
carbone $Z = 6$	93,3	7,5	0,7
fer $Z = 26$	0,9	0,03	0,027
plomb $Z = 82$	0,16	0,027	0,004

##### b. Influence de la dimension des atomes

Un écran en Plomb absorbe beaucoup mieux les rayons X qu'un écran en aluminium de même épaisseur.  
Ceci est dû au fait que les atomes de plomb ( $Z = 82$ ) sont beaucoup plus gros que les atomes d'aluminium ( $Z = 13$ ).

Pour se protéger des rayons X, on préférera utiliser des écrans en plomb.

##### c. Influence de l'épaisseur traversée

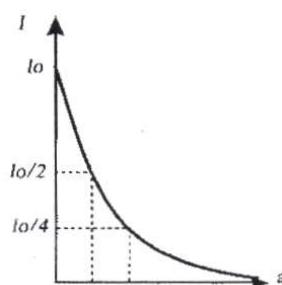


FIG. 4 – Influence de l'épaisseur traversée sur l'absorption des rayons X

$$I = I_0 \cdot e^{-ka}$$

$k$  dépend de la longueur d'onde et de la nature de la substance traversée.  
 $k$  s'exprime en  $m^{-1}$ .

### IV. Applications et utilisations des rayons X

#### A. Radiographie et radioscopie

#### B. Radiothérapie

#### C. Scanner



# Électromagnétisme

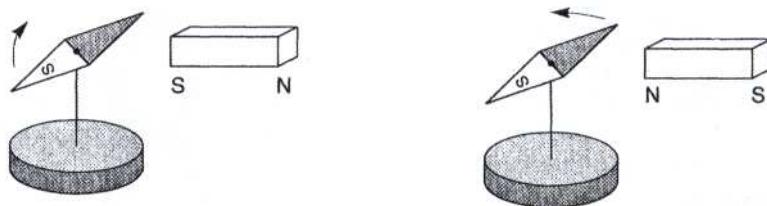


# Champ magnétique

## I. Qu'est-ce qu'un aimant

Les aimants sont des objets capables d'attirer des morceaux de fer, de nickel, ainsi que leurs alliages. Il existe des interactions à distance entre quelques métaux et certains matériaux dits magnétiques (naturellement aimantés ou susceptibles de s'aimanter sous l'effet d'un aimant).

## II. Propriété d'un aimant



Chaque aimant possède deux pôles différents. Ils sont désignés par nord et sud. Il existe des forces de répulsion et des forces d'attraction.

- deux pôles de même nom se repoussent
- deux pôles de noms contraires s'attirent

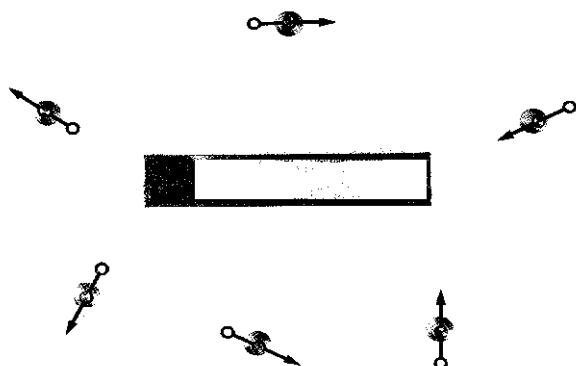
## III. Champ magnétique d'un aimant

### A. Notion de champ magnétique

On appelle champ magnétique la région de l'espace qui entoure un aimant.

### B. Le vecteur champ magnétique

Une aiguille aimantée, placée dans un champ magnétique d'un aimant s'oriente de façon bien déterminée.



Le champ magnétique est représenté par le vecteur  $\vec{B}$  qui a pour caractéristiques :

- Direction : celle que prendrait une petite aiguille aimantée mobile placée en ce point
- Sens : Sud vers le Nord de cette aiguille aimantée
- Intensité : la valeur du champ magnétique au point considéré. Elle s'exprime en Tesla  $T$  et se mesure à l'aide d'un teslamètre.

Ce nom vient de l'ingénieur croate Nikola TESLA (1857-1943)

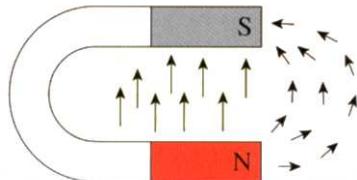
### C. Les lignes de champ

On appelle ligne de champ magnétique, une ligne qui en chacun de ces points est tangente au vecteur champ magnétique  $\vec{B}$ .

### D. Spectre magnétique d'un aimant droit

Voir document précédent.

## E. Spectre magnétique d'un aimant en U



## F. Propriétés des lignes de champ magnétique

- À l'extérieur d'un aimant, les lignes de champ sortent par le pôle Nord et entrent par le pôle Sud de l'aimant.
- Dans le cas d'un aimant en U, le vecteur champ magnétique garde à l'intérieur :
  - la même valeur
  - la même direction
  - le même sens

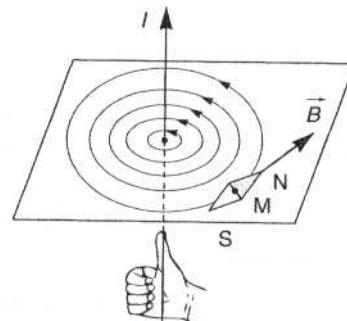
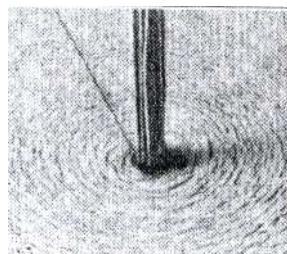
On dit qu'il est uniforme en tout point de cette région.

## IV. Spectres magnétiques de quelques circuits parcourus par un courant

Tout conducteur métallique, parcouru par un courant, crée un champ magnétique.  
On appelle la constante  $\mu_0$  la **perméabilité** du vide. Elle vaut  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  U.S.I.

### A. Spectre magnétique créé par un courant rectiligne

Les lignes de champ sont concentriques.

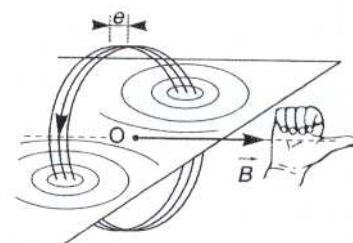
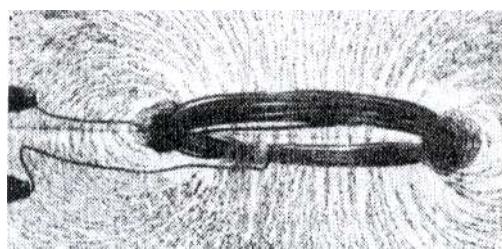


$$B(M) = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{d}$$

- $B$  : champ magnétique en Tesla ( $T$ )
- $I$  : intensité du courant dans le fil ( $A$ )
- $d$  : distance entre le fil et le point  $M$  ( $m$ )

### B. Spectre magnétique d'une bobine plate parcourue par un courant

On constate que les lignes de champ sont fermées.



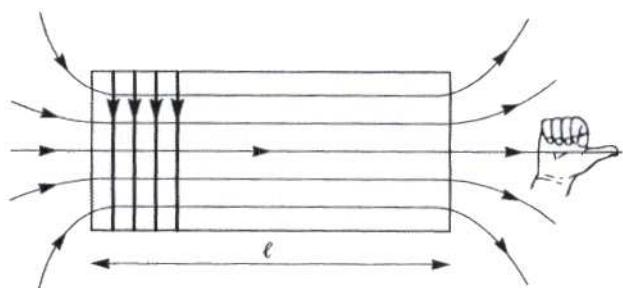
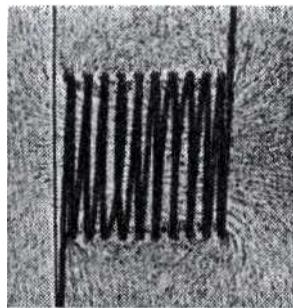
$$B(O) = \frac{\mu_0}{2} \frac{NI}{R}$$

- $B$  : champ magnétique en Tesla ( $T$ )
- $I$  : intensité du courant dans le fil ( $A$ )
- $N$  : nombre de spires
- $R$  : rayon de la bobine ( $m$ )

### C. Spectre magnétique d'un solénoïde

Un solénoïde est une bobine longue (la longueur est grande par rapport à son diamètre). D'après l'expérience on peut dire qu'à l'intérieur d'un solénoïde, le champ magnétique est uniforme et parallèle à l'axe du solénoïde. Le sens du champ peut-être donné par la règle du bonhomme d'Ampère. L'extrémité de la bobine par laquelle sort le vecteur champ est l'extrémité Nord de la bobine.

À l'intérieur d'un solénoïde, le champ magnétique est uniforme et parallèle à l'axe du solénoïde.



La valeur du champ magnétique au centre  $O$  du solénoïde peut être calculée par :

$$B(O) = \mu_0 \frac{NI}{l}$$

- $B$  : champ magnétique en Tesla ( $T$ )
- $I$  : intensité du courant dans le solénoïde ( $A$ )
- $N$  : nombre de spires
- $l$  : longueur du solénoïde

Tout courant électrique est à l'origine d'un champ magnétique. Le vecteur champ magnétique créé par un courant continu change de sens lorsqu'on inverse le sens du courant (il garde la même direction et la même valeur).

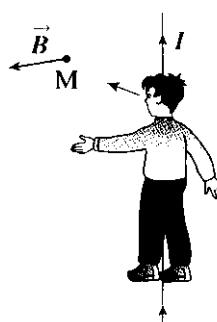
La valeur du champ magnétique au centre  $O$  du solénoïde est proportionnelle à l'intensité du courant dans le conducteur.

$$B = KI$$

### Règle du bonhomme d'Ampère

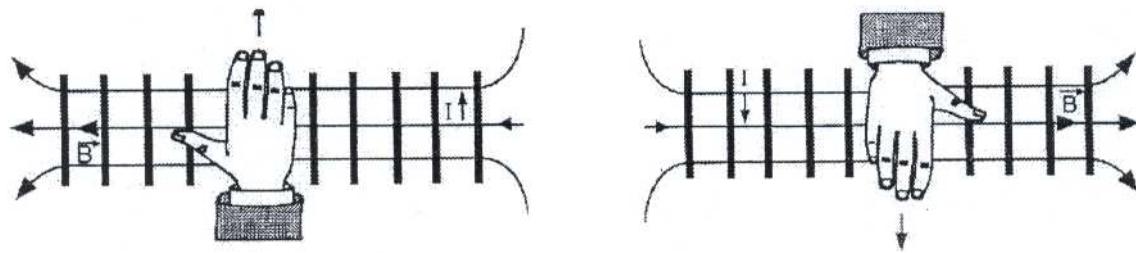
Le sens du vecteur champ en un point  $M$  peut être déterminé en utilisant la règle du bonhomme d'Ampère.

On imagine un bonhomme couché sur le conducteur, le courant lui entrant par les pieds et lui sortant par la tête. Lorsqu'il regarde le point où on veut déterminer le champ, son bras gauche indique la direction et le sens du champ.

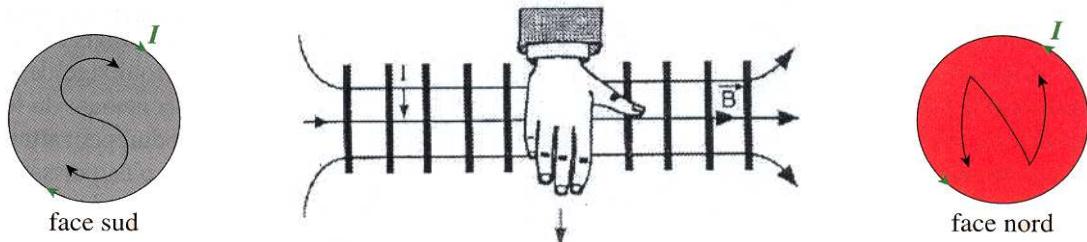


### Règle de la main droite

La règle de la main droite est une variante de la règle du bonhomme d'Ampère.



### Les pôles d'un solenoïde

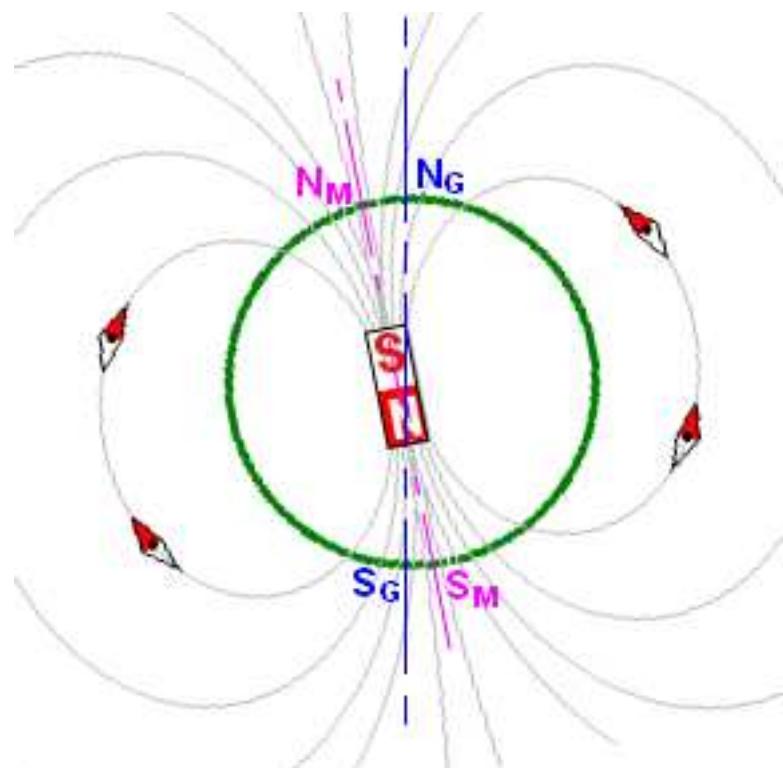


## V. Champ magnétique terrestre

En première approximation, le champ magnétique terrestre est similaire à celui que créerait un gigantesque aimant droit incliné d'environ  $11,5^\circ$  par rapport à l'axe de rotation terrestre.

La direction donnée par une boussole ne coïncide pas tout à fait avec la direction Nord-Sud géographique. L'écart angulaire entre ces deux droites est variable (selon le lieu et selon le temps). C'est la déclinaison.

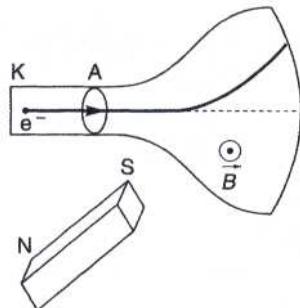
La valeur du champ magnétique terrestre varie selon le lieu. Elle est d'environ  $30 \mu T$  à l'équateur magnétique, de  $60 \mu T$  aux pôles,  $20 \mu T$  en France.



# Loi de Laplace

## I. Action d'un aimant sur un faisceau d'électrons

On constate la déviation du faisceau d'électrons quand on approche l'aimant. Le champ magnétique agit sur des éléments du circuit parcouru par un courant.



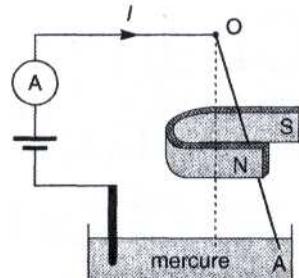
## II. Action d'un champ magnétique uniforme sur un élément du circuit parcouru par un courant

### A. Pendule conducteur

On constate que le pendule dévie : on en déduit qu'il est soumis à une force. Si on ouvre le circuit ou bien on éloigne l'aimant le pendule (conducteur) retombe. La force résulte de la présence simultanée du courant et du champ magnétique.

Cette force s'appelle force électromagnétique. On l'appelle également force de Laplace.

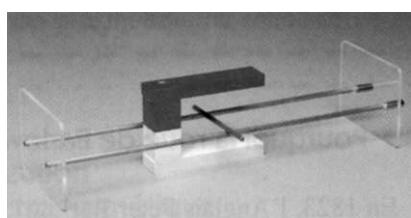
Si on change le sens du courant ou si on retourne l'aimant, on constate que le pendule dévie dans l'autre sens.



### B. Conclusion

- Un conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force électromagnétique.
- Le sens de la force électromagnétique dépend du sens du courant et celui du champ magnétique.

### C. Les rails de Laplace



- Quand on fait passer le courant dans les rails, le conducteur (la tige mobile) se déplace car il est soumis à une force électromagnétique
- La tige mobile est horizontale et traversée par un courant orienté vers l'arrière

- Le champ  $\vec{B}$  est vertical et dirigé vers le bas.
- La force électromagnétique  $\vec{F}$  est horizontale et vers la gauche.
- Si on change le sens du courant la force de Laplace change de sens.
- L'intensité de la force de Laplace augmente si on augmente :
  - l'intensité  $I$  du courant
  - la longueur  $l$  de l'élément du circuit plongé dans le champ magnétique et si on augmente l'intensité du champ magnétique  $\vec{B}$

## D. Loi de Laplace

La loi de Laplace donne l'expression de la force de Laplace  $\vec{F}$  s'exerçant sur un conducteur rectiligne de longueur  $l$  entièrement plongé dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ .

### 1. Point d'application

Le milieu de la portion du circuit placée dans un champ magnétique.

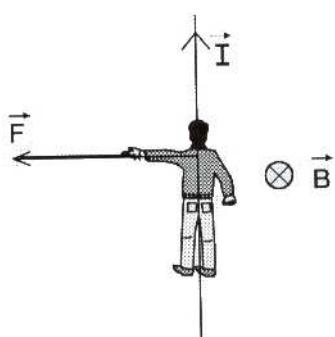
### 2. Direction

Perpendiculaire au plan formé par les directions du conducteur et du vecteur champ magnétique.

### 3. Sens

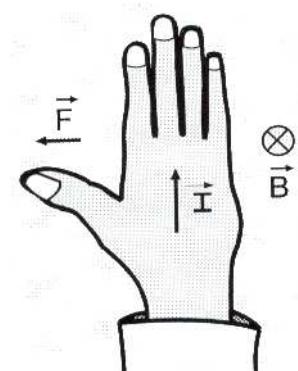
Il est donné par les règles suivantes :

- Règle du bonhomme d'Ampère



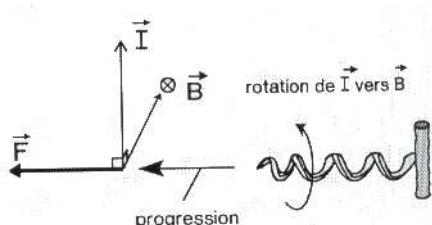
La force est orientée vers la gauche d'un observateur, placé le long du conducteur, parcouru par le courant des pieds vers la tête et regardant dans le sens du champ magnétique  $\vec{B}$ .

- Règle de la main droite



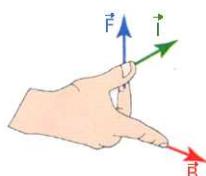
Le courant sort par le bout des doigts, la paume de la main est orientée dans le sens de  $\vec{B}$ , le pouce tendu indique  $\vec{F}$ .

- Règle du tire-bouchon de Maxwell



Un tire-bouchon, tournant dans un sens amenant  $\vec{I}$  sur  $\vec{B}$ , progresse dans le sens de  $\vec{F}$ .

- Règle des trois doigts de la main droite



- le *pouce* indique la direction et le sens de  $\vec{I}$ .
- l'*index* indique la direction et le sens de  $\vec{B}$ .
- le *majeur* indique la direction et le sens de  $\vec{F}$ .

#### 4. Intensité

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha$$

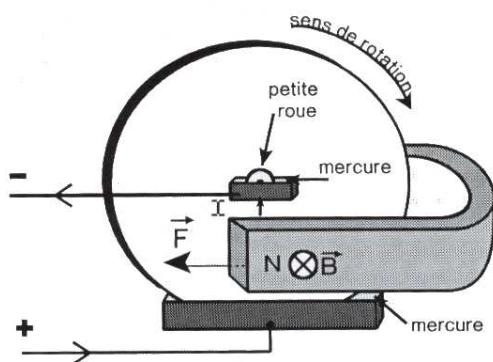
- $F$  : force de Laplace en newton ( $N$ )
- $I$  : intensité en ampère ( $A$ )
- $B$  : champ magnétique en tesla ( $T$ )
- $l$  : longueur du conducteur ( $m$ )
- $\alpha$  : angle compris entre  $I$  et  $\vec{B}$

#### Quelques cas particuliers

- $\alpha = 90^\circ$   
donc  $\sin(\alpha) = 1$   
donc  $F = I \cdot l \cdot B$
- $\alpha = 0^\circ$   
donc  $\sin(\alpha) = 0$   
donc  $F = 0$

### III. Quelques applications pratiques

#### A. Roue de Barlow



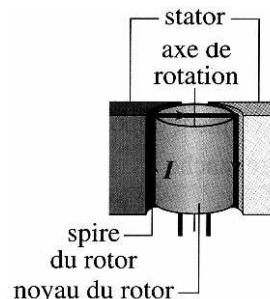
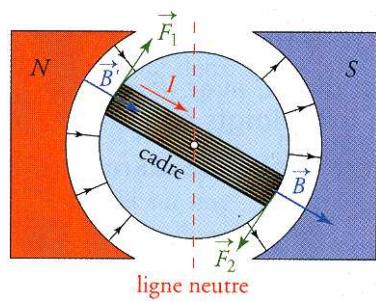
Une roue en cuivre mobile autour de l'axe horizontal O, plonge dans du mercure relié à la borne + du générateur.

Une petite roue, sur le même axe, plonge aussi dans un petit bac à mercure relié à la borne - du générateur.

La partie basse de la roue parcourue par le courant est placée dans le champ magnétique d'un aimant en U.

Une force de Laplace s'applique dans cette partie de la roue et la fait tourner en permanence : c'est l'ancêtre du moteur électrique.

#### B. Le moteur électrique



Il est constitué de deux pièces principales.

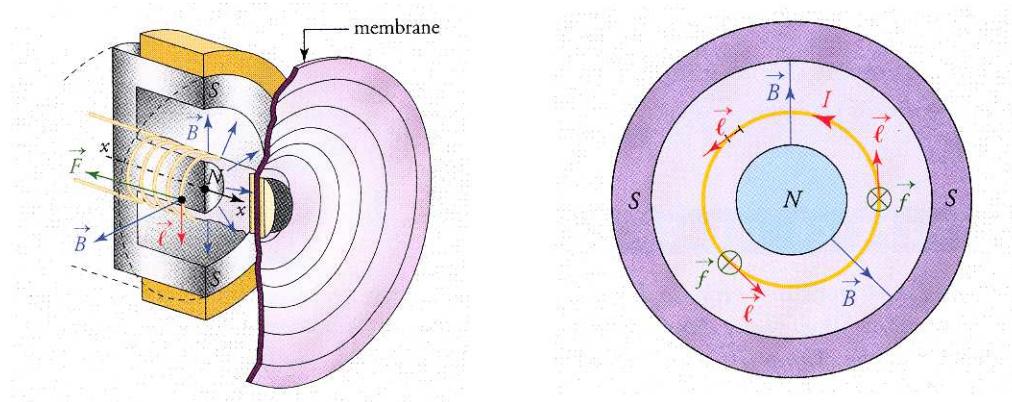
- Le stator

C'est la partie fixe par rapport au bâti. Il est constitué par un aimant (ou un électroaimant).

- Le rotor

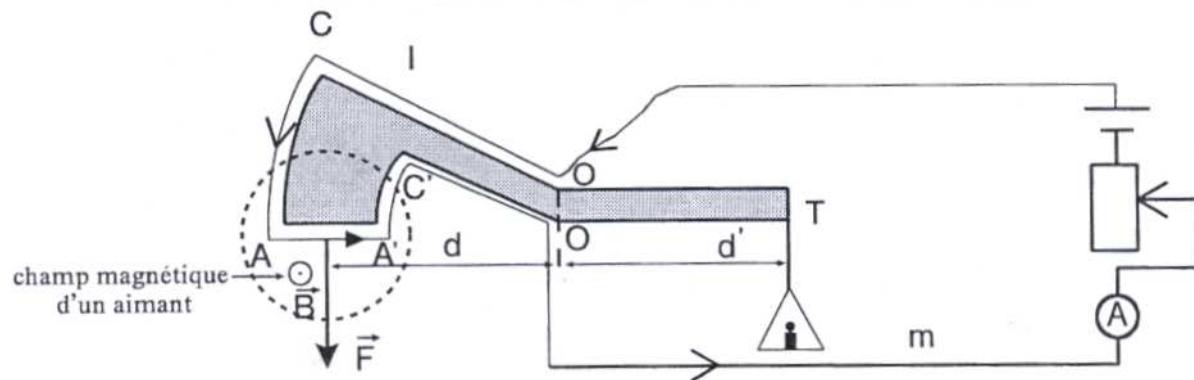
C'est un cylindre d'acier qui peut tourner autour d'un axe  $\Delta$ . Il porte sur sa surface un grand nombre de conducteurs rectilignes en cuivre. Lorsqu'ils sont parcourus par un courant ils sont soumis aux forces de Laplace qui mettent le rotor du moteur en rotation.

### C. Le haut-parleur



Il est formé d'un aimant et d'une bobine cylindrique mobile placé autour du pôle Nord de l'aimant. Lorsqu'un courant circule dans la bobine, celle-ci est soumise à une force électromagnétique  $\vec{F}$  dirigée selon la direction  $XX'$ . La membrane du haut-parleur est solidaire de la bobine et a le même mouvement. Lorsque le courant change de sens, les mouvements se font dans le sens inverse.

### D. La balance de Cotton



Cet appareil permet de mesurer grossièrement l'intensité d'un champ magnétique.

Seule la force qui s'exerce sur la partie  $CD$  agit sur le fléau qui dévie vers le bas.

On rétablit l'équilibre en posant des masses marquées  $m$  sur le plateau de droite.

A l'équilibre la somme des moments des forces est nulle donc :

$$Fd = Pd'$$

Or  $d = d'$  donc  $F = P$

$$I \cdot l_{CD} \cdot B = m \cdot g$$

$$B = \frac{m \cdot g}{I \cdot l_{CD}}$$

# Induction électromagnétique

## I. Mise en évidence expérimentale

### A. Expérience

- L'aiguille dévie pendant la durée de l'approche de l'aimant.
- L'aiguille revient à zéro lorsque l'aimant devient immobile à l'intérieur de la bobine.
- Si on retire l'aimant l'aiguille dévie en sens opposé.
- Si on retourne l'aimant nous constatons la production d'un courant dans la bobine lorsque l'aimant se déplace mais le courant est en sens inverse de la 1ère expérience.

### B. Conclusion

- Le courant qui parcourt la bobine à chaque fois que l'on fait varier le champ magnétique (déplacement de l'aimant dans la bobine) s'appelle courant induit.
- Le courant induit n'existe que pendant la variation du champ magnétique.
- On appelle induit la bobine parcourue le courant induit.
- L'aimant qui crée le champ magnétique est appelé l'inducteur.
- Le phénomène qui donne naissance au courant induit est l'induction électromagnétique.
- A chaque fois qu'on fait varier le flux magnétique à travers un circuit fermé, il apparaît un courant induit.

## II. Flux magnétique

### A. Flux à travers une surface $S$

#### 1. Définition

- La surface  $S$  est entièrement plongée dans le champ magnétique.
- On a orienté arbitrairement le contour de la surface.
- Soit  $n$  la normale (perpendiculaire) à la surface  $S$ . Le sens est défini par la règle du tire-bouchon de Maxwell.
- On définit le vecteur  $\vec{S} = S \vec{n}$

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

- $B$  : champ magnétique en Tesla ( $T$ )
- $S$  : surface ( $m^2$ )
- $\Phi$  : flux en Weber ( $Wb$ )

#### 2. Cas particuliers

- $\vec{B}$  est parallèle à  $\vec{n}$   
 $\alpha = 0$  donc  $\cos \alpha = 1$  donc  $\Phi = BS$
- $B$  et  $n$  ont des sens opposés  
 $\alpha = \pi$  donc  $\cos \alpha = -1$  donc  $\Phi = -BS$
- $B$  est perpendiculaire à  $n$   
 $\alpha = \frac{\pi}{2}$  donc  $\cos \alpha = 0$  donc  $\Phi = 0$   
Aucune ligne de champ ne traverse  $S$ .

### B. Flux dans une bobine

#### 1. Flux à travers une bobine

Soit une bobine avec  $N$  spires de section  $S$  plongée dans un champ magnétique  $\vec{B}$  parallèle à l'axe.  
 $\alpha = 0$  donc  $\cos \alpha = 1$

$$\Phi = B \cdot S \cdot N$$

## 2. Flux propre d'une bobine - Inductance

Une bobine parcourue par un courant  $I$  produit un champ magnétique  $\vec{B}$  parallèle à l'axe perpendiculaire aux spires de la bobine.

Le flux à travers la bobine vaut :

$$\Phi = B \cdot S \cdot N$$

Or le champ magnétique au centre d'un solénoïde vaut :

$$B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l}$$

On déduit alors :

$$\Phi = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l} \cdot S \cdot N$$

soit :

$$\Phi = \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \cdot I$$

On pose la grandeur  $L$  appelée inductance de la bobine :

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l}$$

On a ainsi :

$$\Phi = L \cdot I$$

- $L$  : inductance de la bobine en Henry ( $H$ )
- $\Phi$  : flux de la bobine à travers elle-même (flux propre) en Weber ( $Wb$ )
- $I$  : intensité ( $A$ )

## III. Les lois de l'induction électromagnétique

### A. f.e.m. (force électromotrice) d'induction

Dans tout circuit où circule un courant, il doit exister un générateur qui se manifeste par une f.e.m.

Dans notre cas, aucun générateur n'était présent mais il faut admettre qu'une force électromotrice a pris naissance et qu'il en résulte un courant induit. Cette force électromotrice porte le nom de f.e.m. d'induction (ou f.e.m. induite). Elle s'exprime en  $V$ .

### B. Loi de Faraday

- Toute variation de flux à travers un circuit électrique crée une f.e.m. induite.
- Elle se manifeste par un courant induit lorsque le circuit est fermé.
- Les phénomènes d'induction se produisent pendant que le flux varie. Il cessent dès que le flux reste constant.

### C. Loi de Lenz

#### 1. 1<sup>re</sup>expression

- Lorsqu'on approche l'aimant de la bobine, le champ inducteur (créé par l'aimant) augmente dans la bobine. Le champ magnétique créé par le courant induit est de sens opposé au champ inducteur.
- Lorsqu'on éloigne l'aimant de la bobine le champ inducteur (créé par l'aimant) diminue dans la bobine. Le champ magnétique créé par le courant induit est de même sens que celui du champ inducteur.
- Le sens du courant induit est tel que les forces électromagnétiques qu'il crée s'opposent au déplacement qui lui donne naissance.

#### 2. 2<sup>e</sup>expression

Le sens du courant induit est tel que le flux magnétique qu'il crée à travers l'induit (bobine) s'oppose à la variation du flux qui lui donne naissance.

## D. Loi de Lenz-Faraday

La f.e.m. induite dans un circuit ou le flux magnétique  $\Phi$  varie en fonction du temps  $t$  est donné par la relation :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

- $e$  : f.e.m. induite ( $V$ )
- $\Phi$  : flux ( $Wb$ )
- $t$  : temps ( $s$ )

## IV. Applications de l'induction

### A. Les alternateurs

#### 1. Principe

On obtient une f.e.m. sinusoïdale en faisant tourner un aimant devant une bobine fixe.

**Exemple :** la dynamo d'un vélo

#### 2. Constitution

Un alternateur comprend deux partie principales :

- une partie tournante : le rotor

C'est l'inducteur (il remplace l'aimant). Il est formé de bobines à noyau de fer doux parcouru par un courant continu.

- une partie fixe : le stator

C'est un ensemble de bobines associéesen série afin que les f.e.m. induite s'ajoutent pour obtenir une f.e.m. sinusoïdale. C'est l'induit.

Lorsque l'inducteur (rotor) est parcouru par un courant continu, il produit un champ magnétique.

Comme le rotor tourne autour d'un axe  $\Delta$  à l'intérieur du stator, le flux à travers les bobines du stator varie et il apparaît une f.e.m. alternative sinusoïdale aux bornes de l'induit (stator).

### B. Freinage par courants de Foucault

Les courants induits dans les masses métalliques soumises à des variations de flux sont appelés les courants de Foucault.

On les trouve dans :

- le circuit magnétique d'un transformateur
- les noyaux de fer autour desquels sont enroulées les bobines d'induit des alternateurs.

Ces courants produisent des pertes d'énergie par effet Joule. Ils obéissent à la loi de Lentz en s'opposant à la cause qui leur donne naissance.

On les utilise notamment pour freiner des masses métalliques en mouvement.

- freinages de machines, ralentisseurs de camions
- amortissement des appareils de mesure à aiguille

Ils sont à la base du fonctionnement des moteurs asynchrones.



# Électricité en régime sinusoïdal



# Les régimes sinusoïdaux

## I. Visualisation d'une tension alternative sinusoïdale

### A. Visualisation

On voit que la tension  $u$  prend alternativement des valeurs positives et négatives.

- Elle est maximale en  $A$ .
- Elle s'annule en  $O$ .
- Elle est minimale en  $B$ .
- Elle s'annule de nouveau en  $O_2$ .
- Et ainsi de suite...

### B. Caractéristiques

#### 1. Période $T$

La périodicité  $T$  d'un signal est la plus petite durée au bout de laquelle la tension reprend la même valeur en variant dans le même sens.

- $T$  : période (en s)

#### 2. Fréquence $f$

La fréquence  $f$  d'un signal est le nombre de périodes  $T$  par seconde.

$$f = \frac{1}{T}$$

- $T$  : période (en s)
- $f$  : fréquence (en Hz)

#### 3. Valeur maximale $U_m$

La valeur de la tension alternative est comprise entre deux valeurs extrêmes :

- $U_{max}$
- $-U_{max}$

### C. Tension instantanée

La tension instantanée  $u(t)$  ou simplement  $u$  (en lettre *minuscule*) s'exprime en fonction du temps par la relation :

$$u(t) = U_{max} \cos \omega t$$

- $u(t)$  : tension instantanée (en V)
- $U_{max}$  : tension maximale (en V)
- $\omega$  : pulsation (en rad.s<sup>-1</sup>)

### D. Relation entre $\omega$ et $T$

À l'instant  $t$  on a :  $u(t) = U_{max} \cos \omega t$

À l'instant  $t + T$  on a :  $u(t + T) = U_{max} \cos \omega(t + T)$

soit  $u(t + T) = U_{max} \cos \omega t + \omega T$

or  $u(t + T) = u(t)$  et comme la fonction cos est  $2\pi$ -périodique on en déduit :  $\omega T = 2\pi$  soit :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

Ou encore :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

## II. Intensité instantanée

### A. Expression de l'intensité en fonction du temps

Dans des circuits électriques comportant des bobines l'intensité et la tension sont déphasées.

$$i(t) = I_{max} \cos \omega t + \varphi$$

- $i(t)$  : intensité instantanée (en A)
- $I_{max}$  : amplitude (intensité maximale) (en A)
- $\omega$  : pulsation (en  $\text{rad.s}^{-1}$ )
- $\varphi$  : phase (ou déphasage de l'intensité par rapport à la tension) (en rad)

### B. Déphasage entre $i$ et $u$

Soit  $\tau$  le temps qui sépare deux maximums consécutifs des deux courbes.

$$\varphi = \omega \tau$$

$$\omega T = 2\pi \text{ donc } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\tau = \frac{2\pi \tau}{T}$$

- $\tau$  : le temps qui sépare deux maximums consécutifs (en s)
- $T$  : période (en s)
- $\varphi$  : déphasage (en rad)

$$u(t) = U_{max} \cos \omega t$$

$$i(t) = I_{max} \cos \omega(t + \tau) = I_{max} \cos \omega t + \omega \tau$$

On pose :

$$\varphi = \omega \tau$$

- On dit que  $i$  est en avance sur  $u$  lorsque la courbe représentant  $i(t)$  passe par un maximum (ou une valeur nulle, ou un minimum) un instant  $\tau$  **avant**  $u(t)$ .  $\varphi > 0$
- On dit que  $i$  est en retard sur  $u$  lorsque la courbe représentant  $i(t)$  passe par un maximum (ou une valeur nulle, ou un minimum) un instant  $\tau$  **après**  $u(t)$ .  $\varphi < 0$

## III. Tension et intensité efficaces

### A. Définition

L'intensité efficace  $I$  (en lettre **majuscule**) d'un courant alternatif sinusoïdal dans une résistance est l'intensité du courant continu qui produirait le même effet thermique pendant le même temps.

La tension efficace  $U$  appliquée aux bornes d'une résistance est la tension continue  $U$  qui produirait le même effet thermique pendant le même temps.

$$U = U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$I = I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

**Remarque :** En courant alternatif, lorsqu'on utilise une lettre majuscule cela désigne une valeur efficace (même si on ne note pas toujours *eff*).

## IV. Impédance d'un dipôle

### A. Impédance d'une bobine

- En continu  $\frac{U}{I}$  représente la résistance  $R$  de la bobine.
- En alternatif  $\frac{U}{I}$  représente l'impédance  $Z$  de la bobine.

L'impédance d'un dipôle passif est égal au quotient de la tension efficace par l'intensité efficace qui le traverse :

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{U_{max}}{I_{max}}$$

On a donc en courant alternatif, l'analogie de la loi d'Ohm en courant continu :

$$U = ZI$$

**Exemple :** Dans le cas d'une bobine :

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$$

- $L$  : inductance de la bobine (en  $H$ )
- $R$  : résistance de la bobine (en  $\Omega$ )

## B. Impédance d'un dipôle R,L,C

L'impédance du circuit  $R L C$  vaut :

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$$

- $L$  : inductance de la bobine (en  $H$ )
- $R$  : résistance (en  $\Omega$ )
- $C$  : capacité du condensateur (en  $F$ )

## C. Le phénomène de résonance

On remarque que l'impédance du circuit  $R L C$  dépend de  $\omega$  donc de la fréquence.

Il existe une fréquence  $f_0$  pour laquelle l'impédance est minimale : on dit qu'il y a résonance.

À cette fréquence là l'intensité efficace dans le circuit passe par un maximum.

Il y a résonance lorsque  $L\omega_0 - \frac{1}{C\omega_0} = 0$ . Dans cette situation on a alors  $Z = R$ .

$L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0}$  soit  $LC\omega_0^2 = 1$  donc  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  soit :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

## V. Le transformateur

### A. Principe

Un transformateur a pour rôle de modifier la valeur efficace d'une tension alternative sans modifier sa fréquence.

Il est formé par deux enroulements (bobine) appelés primaire et secondaire.

Soit  $U$  la tension efficace aux bornes du primaire.

La tension sinusoïdale dans le primaire produit en champ magnétique.

Le secondaire est soumis au champ magnétique produit par le primaire. Il en résulte une variation de flux qui donne naissance à une force électromotrice d'induction.

## B. Rapport de transformation

$k$  est le rapport de transformation.

$$k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

- $k$  : rapport de transformation (sans unité)
- $U_2$  : tension efficace aux bornes de l'enroulement secondaire.
- $U_1$  : tension efficace aux bornes de l'enroulement primaire.
- $N_2$  : nombre de spires de l'enroulement secondaire.
- $N_1$  : nombre de spires de l'enroulement primaire.
- $N_2 > N_1$  donc  $U_2 > U_1$  : le transformateur élève la tension
- $N_2 < N_1$  donc  $U_2 < U_1$  : le transformateur abaisse la tension

## C. Rendement d'un transformateur

On définit le rendement d'un transformateur par :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1}$$

On peut admettre en première approximation que le rendement  $\eta$  d'un transformateur est proche de 1. donc  $U_2 I_2 \approx U_1 I_1$  donc :

$$k = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{I_1}{I_2}$$

## D. Intérêt des transformateurs

### 1. Élevateur de tension

On utilise les transformateurs dans un téléviseur pour augmenter la tension du secteur 220 V efficace à 15 kV efficace pour alimenter le tube cathodique.

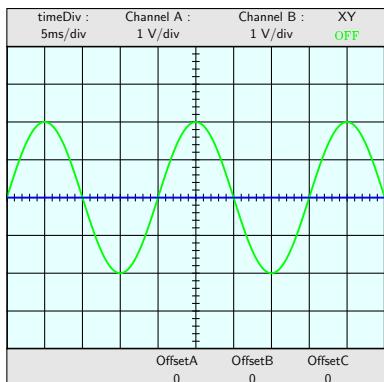
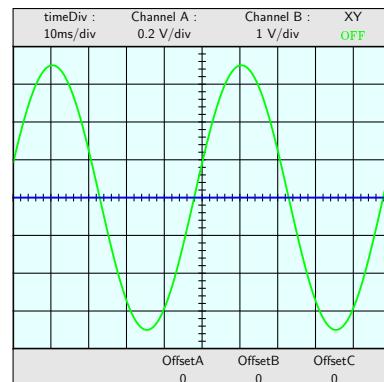
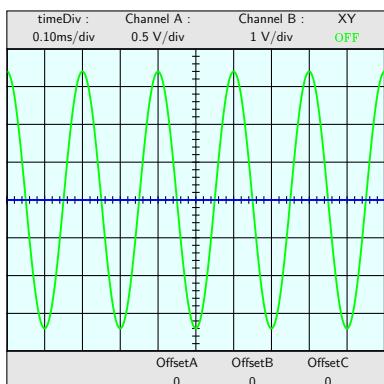
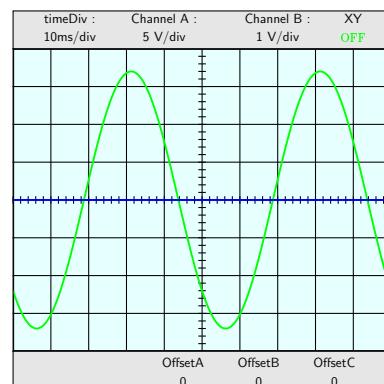
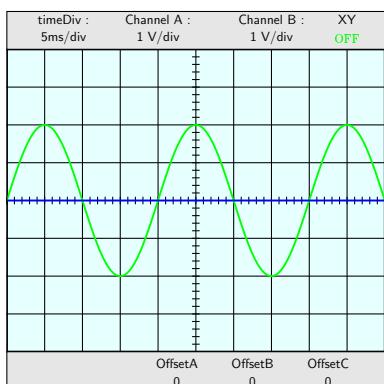
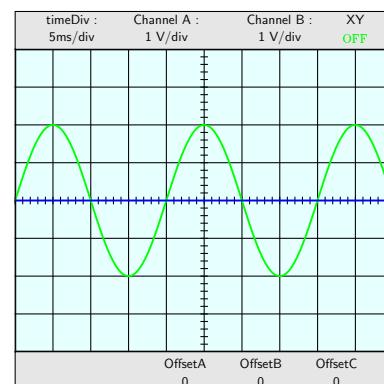
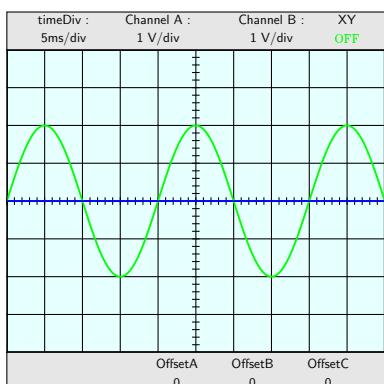
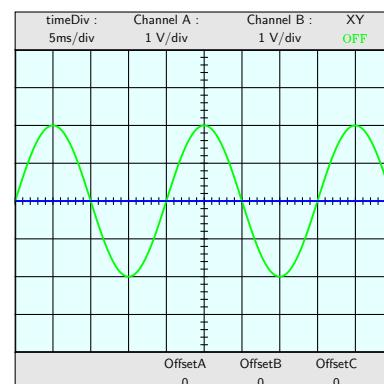
On utilise aussi des transformateurs pour alimenter les tubes lumineux (10 kV)

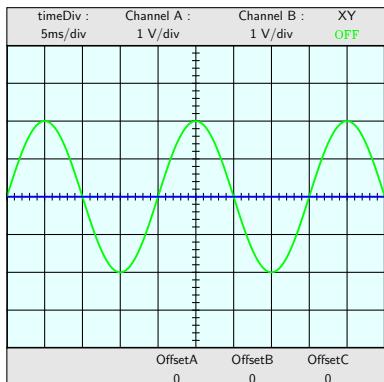
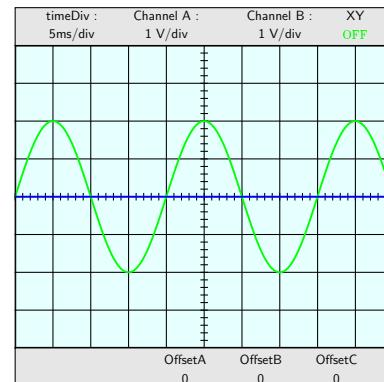
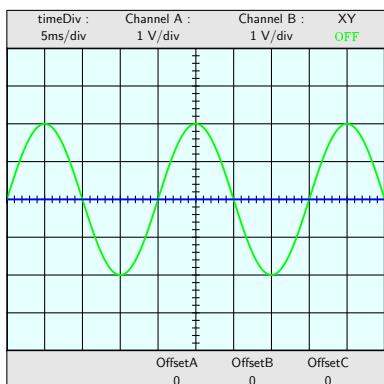
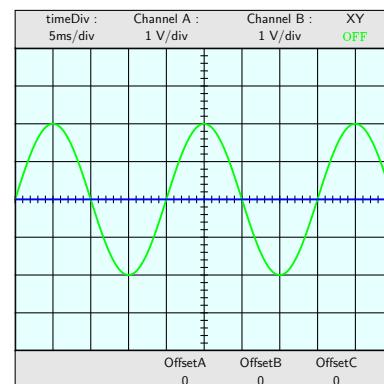
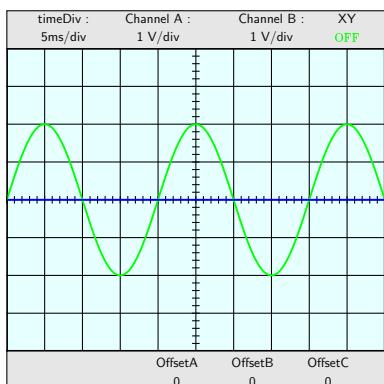
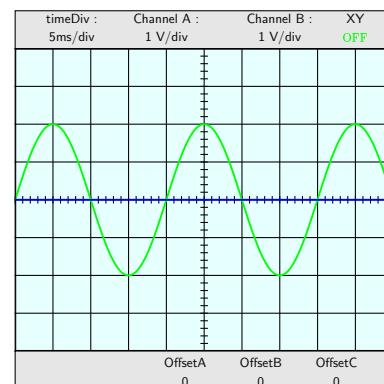
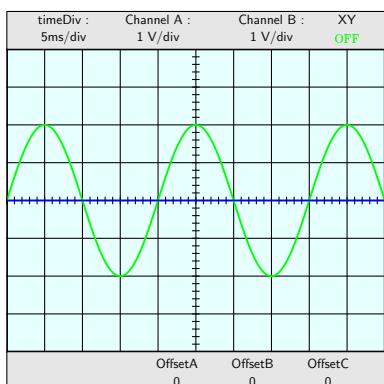
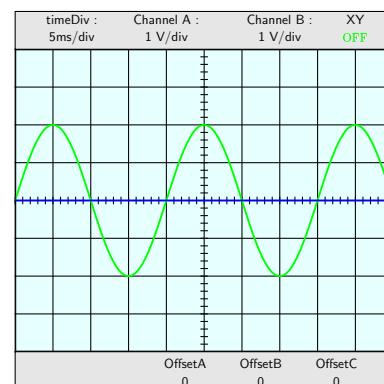
Afin de limiter les pertes par effet Joule dans les lignes électriques on augmente aussi la tension (donc le courant en ligne est plus faible pour transporter la même puissance).

### 2. Abaisseur de tension

On utilise des transformateurs en abaisseur de tension dans certains jouets, dans les générateurs 6 – 12 V.

## Quelques exemples d'oscillogrammes

FIG. 1 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 2 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 3 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 4 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 5 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 6 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 7 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 8 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$

FIG. 9 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 10 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 11 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 12 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 13 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 14 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 15 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$ FIG. 16 –  $T = \dots$ ;  $U_m = \dots$

Première

Sciences et Technologies Industrielles

Génie Électrotechnique



# Amplificateur Opérationnel



# TP : Amplificateur Opérationnel en régime linéaire

## Matériel

- amplificateur opérationnel
- résistances
- alimentation continue symétrique  $+15 V / -15 V$
- alimentation continue ajustable 0 - 12 V
- 2 multimètres

## I. Introduction

Un Amplificateur Opérationnel est capable d'amplifier (multiplier par un gain) une tension.

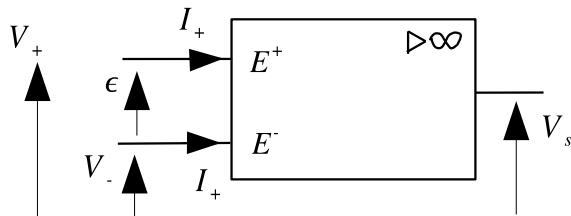
Un Amplificateur Opérationnel est également capable de réaliser des opérations (ajouter deux tensions, soustraire l'une par rapport à l'autre, ...)

Nous allons tenter dans cette séance de TP de comprendre le fonctionnement externe de l'A.O. Si un A.O. est capable d'amplifier la tension d'un signal d'entrée d'où vient cette énergie supplémentaire ?

.....  
.....

*Avant toute réalisation on n'oubliera pas d'alimenter l'A.O. avant de lui appliquer un signal d'entrée.*

En règle générale l'alimentation n'est pas représentée sur le schéma.



## A. L'A.O. idéal

Les courants d'entrée dans la borne inverseuse  $E^-$  et la borne non-inverseuse  $E^+$  sont nuls.

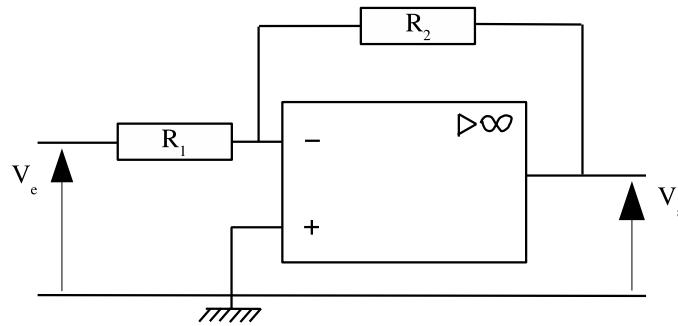
$$I_+ = I^- = 0$$

## B. L'A.O. idéal en régime linéaire

La différence de potentiel entre les bornes  $E^+$  et  $E^-$  est nulle.

$$\epsilon = V^+ - V^- = 0$$

## II. Montage inverseur



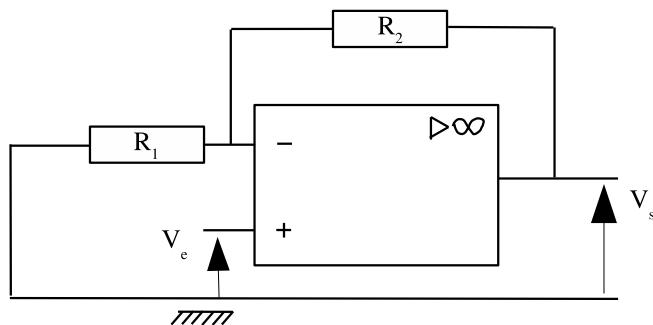
### A. Étude théorique

En utilisant la loi d'Ohm, la loi des noeuds et ka loi des mailles, exprimez  $V_s$  en fonction de  $V_e$  et des résistances du circuit.

### B. Étude expérimentale

1. Réalisez le montage ci-dessus et vérifiez son fonctionnement.
2. Relevez  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .

## III. Montage non-inverseur



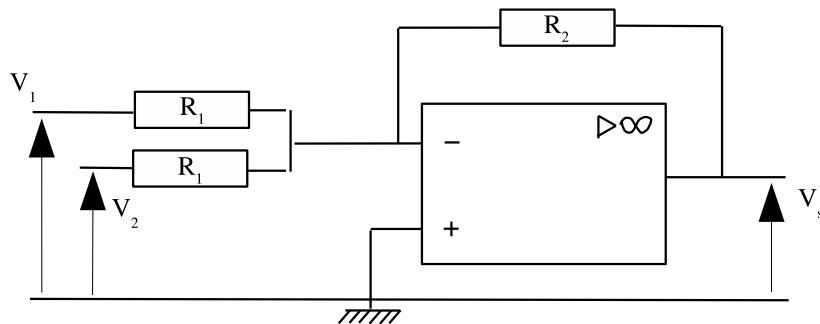
### A. Étude théorique

En utilisant la loi d'Ohm, la loi des noeuds et ka loi des mailles, exprimez  $V_s$  en fonction de  $V_e$  et des résistances du circuit.

### B. Étude expérimentale

1. Réalisez le montage ci-dessus et vérifiez son fonctionnement.
2. Relevez  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .

## IV. Montage additionneur inverseur



### A. Étude théorique

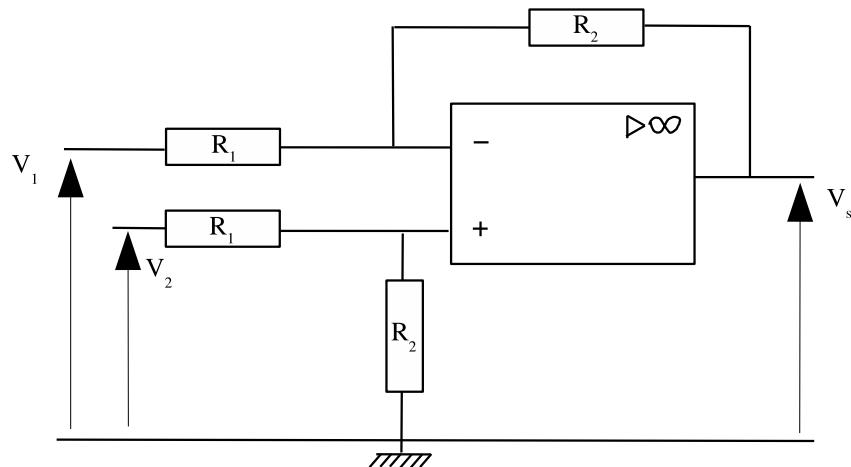
En utilisant la loi d'Ohm, la loi des noeuds et ka loi des mailles, exprimez  $V_s$  en fonction de  $V_1$ ,  $V_2$  et des résistances du circuit.

Essayez de retrouver ce résultat par une autre méthode.

### B. Étude expérimentale

Réalisez le montage ci-dessus et vérifiez son fonctionnement.

## V. Montage soustracteur



On prendra ici pour simplifier  $R_1 = R_2 = R$ .

### A. Étude théorique

En utilisant la loi d'Ohm, la loi des noeuds et ka loi des mailles, exprimez  $V_s$  en fonction de  $V_1$ ,  $V_2$  et des résistances du circuit.

Essayez de retrouver ce résultat par une autre méthode.

### B. Étude expérimentale

Réalisez le montage ci-dessus et vérifiez son fonctionnement.



# TP : Évaluation

## Amplificateur Opérationnel

### en régime linéaire

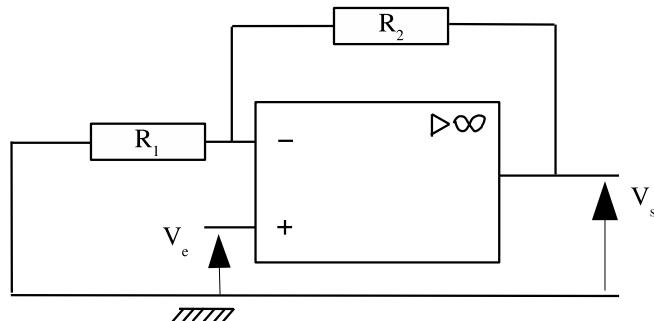
Lors de cette séance vous allez être divisé en deux groupes.

Un groupe réalisera les activités expérimentales pendant que l'autre groupe réalisera les activités théoriques.

#### I. Activités théoriques

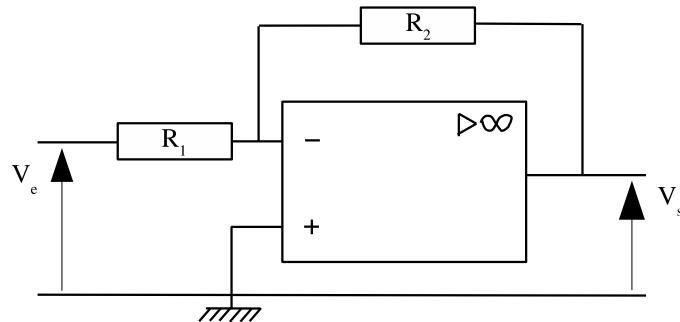
Application Numérique :  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ .

##### A. Montage 1



1. Fléchez les courants et les tensions dans ce montage.
2. Déterminez  $V_s$  en fonction de  $V_e$  et des résistances du montage.
3. Tracez  $V_s$  en fonction de  $V_e$  de manière théorique (à partir de la question précédente)
4. Expérimentalement on n'obtient pas le résultat indiqué précédemment. Pourquoi ?
5. Tracez la caractéristique  $V_s$  en fonction de  $V_e$  que l'on doit obtenir expérimentalement.
6. Quel est le nom de ce montage ?

##### B. Montage 2



1. Déterminez  $V_s$  en fonction de  $V_e$  et des résistances du montage.
2. Tracez la caractéristique  $V_s$  en fonction de  $V_e$  que l'on obtient théoriquement.
3. Tracez la caractéristique  $V_s$  en fonction de  $V_e$  que l'on doit obtenir expérimentalement.
4. Quel est le nom de ce montage ?

## II. Activités expérimentales

Nous allons étudier le montage 2 dont le schéma de principe est présenté dans la partie théorique.

On prendra  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ .

Nous souhaitons tracer expérimentalement et point par point la caractéristique Entrée - Sortie de ce montage ( $V_s$  en fonction de  $V_e$ ).

1. Indiquez le matériel nécessaire pour réaliser ce montage.  
Faites vérifier votre liste de matériel.
  
  
  
  
2. Réalisez le schéma du **montage** permettant de remplir l'objectif. On rappelle notamment que doivent figurer sur un schéma de montage les différentes alimentations (hormis l'alimentation symétrique) et les appareils de mesure.  
Faites vérifier votre schéma de montage.
  
  
  
  
3. Réalisez le montage sans mettre sous tension.  
Faites vérifier le montage lorsque vous pensez que tout est prêt (y compris les appareils de mesure)
  - Résistances
  - Fil entre  $E^+$  et Masse
  - Tension d'entrée
  - Alimentation symétrique
  - Instruments de mesure
  - Propreté du montage (respect des couleurs conventionnelles, fil non mélés, ...)
  
  
  
  
4. Tracez  $V_s$  en fonction de  $V_e$  pour  $V_e$  allant de  $-4 \text{ V}$  à  $+4 \text{ V}$  tous les  $0,5 \text{ V}$ .  
Vous utiliserez une feuille de papier millimétré voir simplement une feuille quadrillée à  $0,5 \text{ mm}$  pour effectuer ce tracé. Le choix de l'échelle est libre mais doit figurer sur le tracé.
  
  
  
  
5. Calculez le coefficient directeur de la droite et déduisez-en la relation entre  $V_s$  et  $V_e$ .  
Comparez avec la valeur théorique.
  
  
  
  
6. Comment tracer directement à l'oscilloscope  $V_s$  en fonction de  $V_e$ ?  
Faites un schéma de montage et expliquez l'alimentation que vous utilisez, le mode dans lequel vous faites fonctionner l'oscilloscope...

S'il vous reste du temps,

- et que vous n'avez pas encore abordé la partie théorique, vous pouvez y passer.
- et que vous avez abordé la partie théorique dites-le afin d'obtenir une question bonus.

# Régimes variables



# TP : Utilisation d'un Générateur Basse Fréquence (G.B.F.) et d'un oscilloscope

## Objectifs

- Savoir utiliser un G.B.F.
- Savoir utiliser un oscilloscope

## Matériel

- 1 Générateur Basse Fréquence (G.B.F.)
- 1 oscilloscope
- des fiches BNC-banane et des fils ou des cordons BNC-BNC

## I. Conseils d'utilisation des appareils

- Consulter la documentation des appareils.
- Consulter la fiche de chaque appareil.

## II. Travail expérimental

### A. Mesure de la période et de la fréquence d'une tension variable

- Sélectionner la forme du signal.
- Régler la fréquence du signal.
- Régler l'amplitude (crête à crête) du signal à 10 V.
- Remplir le tableau ci-dessous.

Forme du signal	Fréquence $f$ (Hz)	Nombre $N$ de divisions pour une période	Calibre $C$ de la base de temps ( $s.DIV^{-1}$ )	$T = C \cdot N$ (s)	$f = \frac{1}{T}$ (Hz)
Triangle	500				
Triangle	1 000				
Carré	2 000				
Carré	8 000				
Sinusoidal	10 000				
Sinusoidal	40 000				

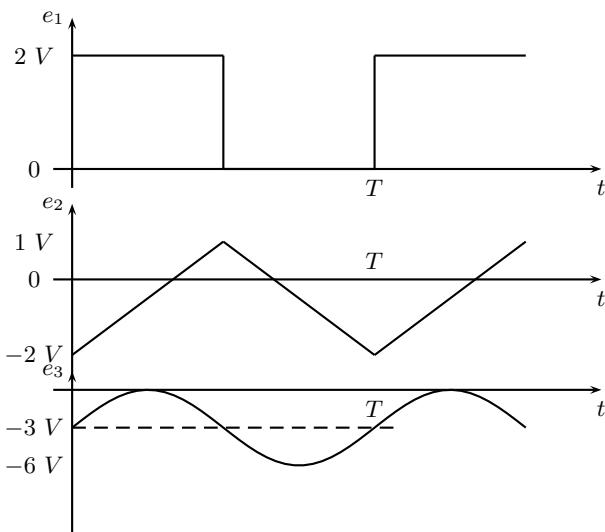
### B. Réglage d'une tension de fréquence et d'amplitude données

- Faire les réglages nécessaires pour observer les signaux suivants :
  - Tension sinusoïdale de période 10 ms et d'amplitude 5 V
  - Tension en crénaux de fréquence 50 kHz et d'amplitude 500 mV
  - Tension triangulaire de fréquence 200 kHz et d'amplitude 2 V
- Faire vérifier les 3 réglages et dessiner l'oscillogramme de la tension sinusoïdale en notant bien la sensibilité verticale, le calibre de la base de temps et la position du zéro.

### C. Réglage d'une tension décalée verticalement par rapport à l'axe horizontal

Pour décaler une tension verticalement, c'est à dire pour obtenir une tension non symétrique, on doit agir sur le bouton **DÉCALAGE** (ou **DC OFFSET**) du G.B.F.

Il faut toujours régler **d'abord** l'amplitude crête à crête du signal. Ensuite on peut décaler le signal par rapport à l'axe horizontal avec le bouton **DC OFF-SET** du G.B.F. (il faut tirer ce bouton pour activer le décalage et le tourner pour régler ce décalage).



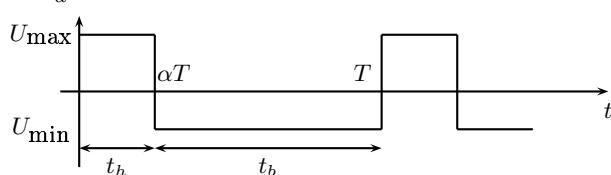
Régler le G.B.F. pour obtenir les tensions ci-contre.  
On prendra  $f = 2 \text{ kHz}$ .

Faire vérifier les 3 réglages et dessiner l'oscilloscopogramme de la tension rectangulaire. On notera bien sur l'oscilloscopogramme la sensibilité verticale, le calibre de la base de temps et la position du zéro.

## D. Réglage du rapport cyclique $\alpha$

Soit un signal rectangulaire. Il est possible avec un G.B.F d'obtenir un signal dont la durée de l'état bas est différente de la durée de l'état haut.

On appelle rapport cyclique  $\alpha$  du signal le rapport entre la durée du signal à l'état haut et la période du signal.



$$\begin{aligned} t_h &= \alpha T : \text{durée du signal à l'état haut} \\ t_b &= (1 - \alpha)T : \text{durée du signal à l'état bas} \\ T &= t_h + t_b : \text{période du signal} \\ \alpha &= \frac{t_h}{T} : \text{rapport cyclique } (\alpha \leq 1) \end{aligned}$$

Le réglage d'un signal à rapport cyclique variable se fait en agissant sur le bouton **SYMÉTRIE DUTY** du G.B.F.

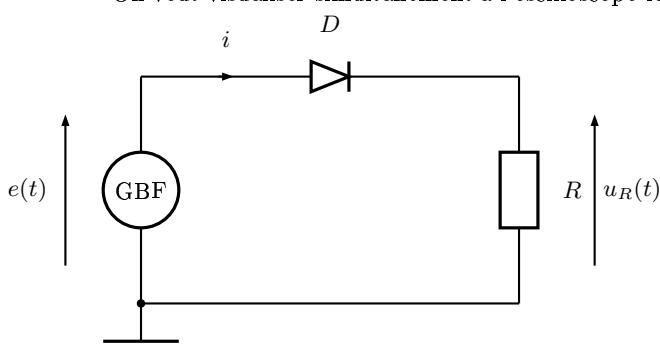
Régler le G.B.F. pour obtenir la tension suivante :

$$T = 0,8 \text{ ms} ; U_{\max} = 1 \text{ V} ; U_{\min} = -1 \text{ V} ; \alpha = 0,25$$

Dessiner maintenant l'oscilloscopogramme de cette tension pour  $\alpha = 0,75$  en précisant bien la sensibilité verticale, le calibre de la base de temps et la position du zéro.

## E. Utilisation des 2 voies de l'oscilloscope

On veut visualiser simultanément à l'oscilloscope les tensions  $e(t)$  et  $u_R(t)$ .



Attention : lorsqu'on veut visualiser 2 signaux en même temps à l'oscilloscope, il faut que ces 2 signaux soient référencés par rapport à la même masse. On ne relie donc qu'une seule masse (fil noir) à l'oscilloscope et cette masse doit être la même que celle du G.B.F.

- Régler le G.B.F. à vide (c'est à dire en branchant uniquement le G.B.F. à l'oscilloscope et donc *sans qu'il soit connecté au circuit* afin d'obtenir une tension  $e(t)$  sinusoïdale de période 1 ms et d'amplitude 8 V).
- Éteindre le G.B.F. puis réaliser le schéma ci-dessus avec  $R = 100\Omega$ .
- Visualiser les 2 signaux  $e(t)$  et  $u_R(t)$  sur les 2 voies de l'oscilloscope et les relever.
- Proposer une méthode pour visualiser la tension  $u_D(t)$  aux bornes de la diode en utilisant la loi des mailles et les commandes **ADD** et **-CH2** ou **-Y<sub>B</sub>** de l'oscilloscope.
- Montrer que l'alternance positive de  $e$  est modifiée (sa valeur maximale diminue) alors que l'alternance négative ne l'est pas, pourquoi ?
- Expliquer l'allure obtenue pour  $u_R$ .
- Comment visualiser l'allure de l'intensité  $i$  du courant traversant le circuit ?

# Visualisation à l'aide d'un oscilloscope d'une tension délivrée par un Générateur Basse Fréquence

Un oscilloscope permet de visualiser des tensions alternatives. C'est un voltmètre qui permet d'afficher la tension sur un écran.

## I. Tension continue ou tension alternative ?

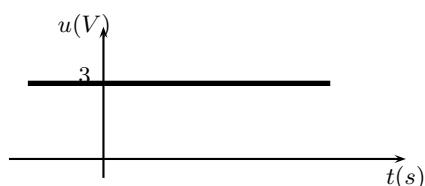
#### A. Tension continue

C'est une tension dont la valeur est constante dans le temps.

On délivre généralement cette tension à l'aide d'un générateur de tension continue.

*Exemple :  $U \equiv 3\text{ V}$*

Sa valeur « maximale » est constante et vaut 3 V.



Un voltmètre « classique » est suffisant pour pouvoir mesurer une tension continue.

timeDiv : Channel A : Channel B : XY  
5ms/div 1 V/div 1 V/div OFF

OffsetA OffsetB OffsetC

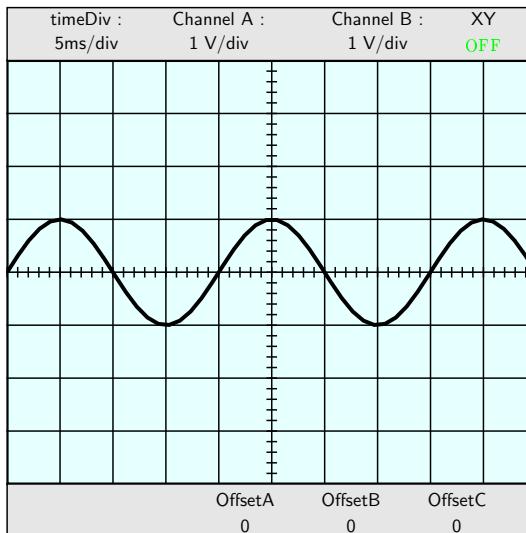
3 0 0

## B. Tension alternative

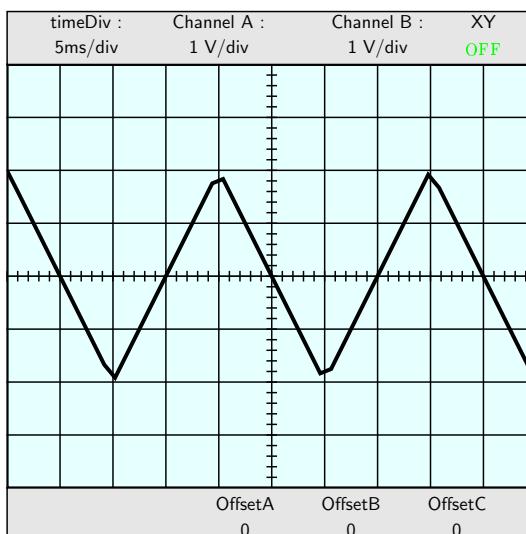
C'est une tension qui varie dans le temps. On délivre généralement une tension alternative à l'aide d'un Générateur Basse Fréquence (G.B.F.). Pour pouvoir caractériser une tension alternative il est nécessaire de donner ses caractéristiques.

### 1. Le type de signal

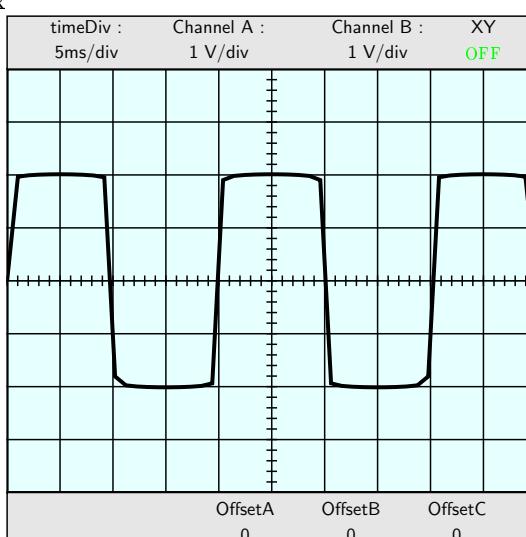
- sinusoïdal



- triangulaire



- rectangulaire ou en créneaux



## 2. La période $T$ du signal

La période  $T$  est la plus petite durée au bout de laquelle la tension reprend la même valeur en variant dans le même sens.

$T$  s'exprime en seconde  $s$ .

## 3. La fréquence

Le nombre de périodes par seconde est appelé fréquence  $f$ .

$$f = \frac{1}{T}$$

- $f$  : fréquence (en Hertz Hz)
- $T$  : période (en seconde s)

## 4. Tension crête à crête

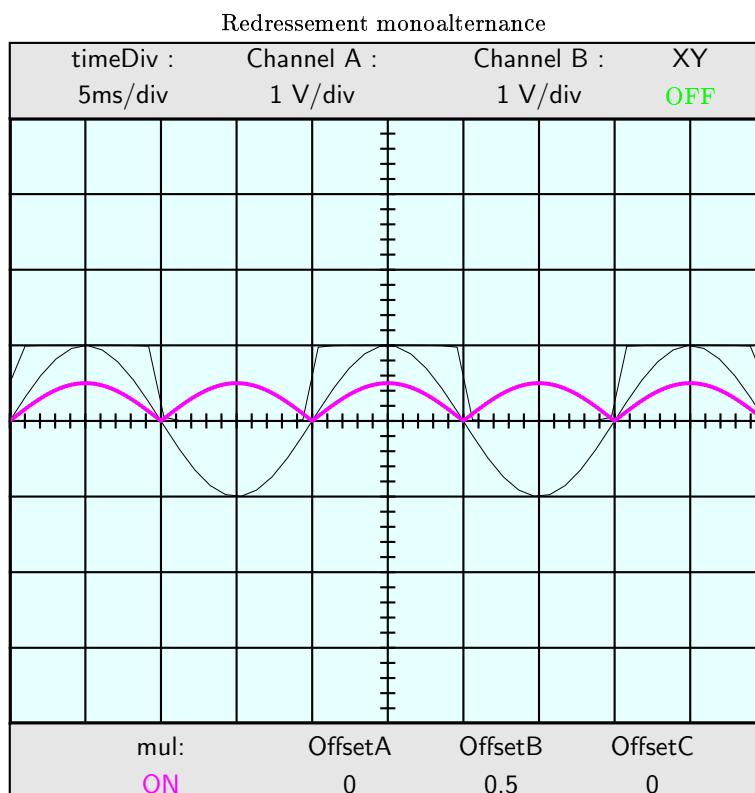
C'est la différence de tension entre les valeurs maximales et minimales de la tension ; on la note  $U_{CC}$ .

L'amplitude de la tension est  $U_M = \frac{U_{CC}}{2}$  car elle varie entre  $-U_M$  et  $+U_M$ .

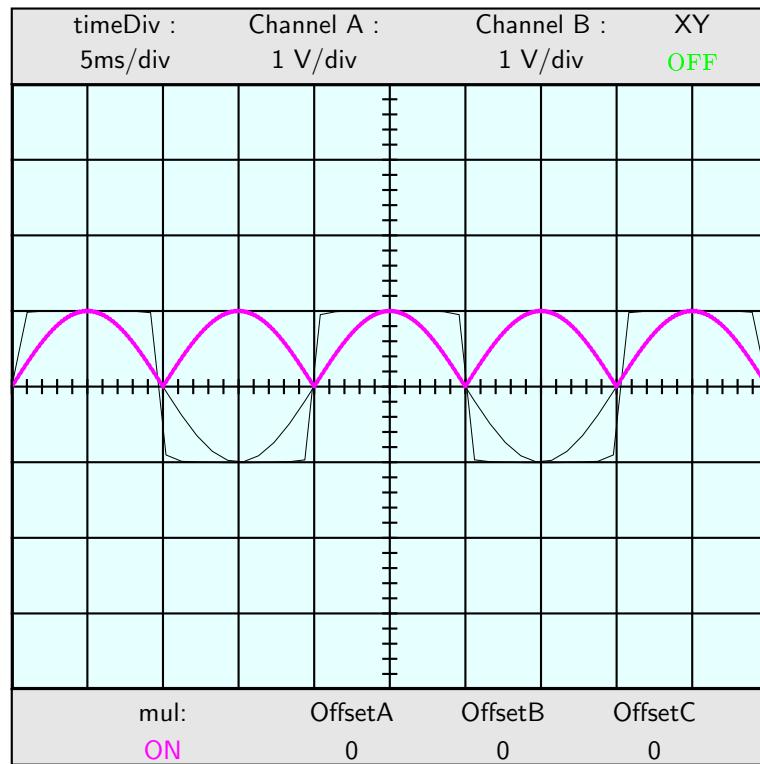
## II. Utiliser un oscilloscope

## III. Principe de fonctionnement de l'oscilloscope

### Exercices sur l'oscilloscope



Redressement bialternance



# Grandeurs périodiques

## I. Valeur instantanée

Observons à l'aide d'un oscilloscope la tension délivrée par un Générateur Basse Fréquence (GBF) réglé sur le mode triangle. On note  $u(t)$  cette tension, avec  $u$  en *minuscule* car la grandeur que nous observons évolue au fil du *temps*.

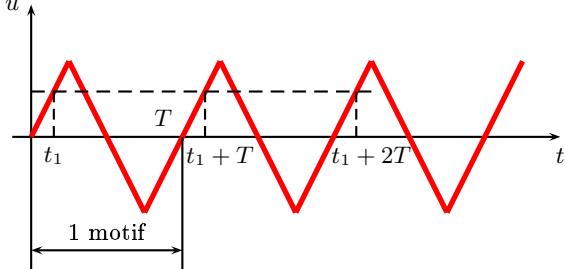


FIG. 1 – Signal triangulaire

## II. Grandeur périodique

En observant l'oscilogramme de  $u$ , nous remarquons l'existence d'une suite de «motifs» identiques. Le plus petit motif a une durée  $T$ . Nous avons alors l'égalité suivante (avec  $k$  entier relatif) :

$$u(t) = u(t + T) = u(t + 2T) = \dots = u(t + kT)$$

## III. Fréquence d'une grandeur périodique

La fréquence d'une grandeur périodique est le nombre de motifs que la grandeur décrit en une seconde ; elle est définie par :

$$f = \frac{1}{T}$$

- $f$  : fréquence en hertz (Hz)
- $T$  : période en secondes (s)

On définit également la pulsation d'une grandeur périodique  $\omega$  par :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

- $\omega$  : pulsation en radian par seconde ( $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )
- $f$  : fréquence en hertz (Hz)
- $T$  : période en secondes (s)

## IV. Valeur moyenne d'une grandeur périodique

### A. Quantité d'électricité transportée par un courant continu

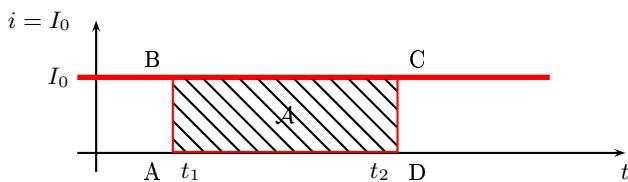


FIG. 2 – Courant continu

La quantité d'électricité transportée par un courant continu d'intensité  $I_0$  entre deux instants  $t_1$  et  $t_2$  est  $Q_{12} = I_0(t_2 - t_1)$ .  $Q_{12}$  est l'aire  $\mathcal{A}$  du rectangle ABCD.

$$I_0 = \frac{Q_{12}}{t_2 - t_1} = \frac{\mathcal{A}}{t_2 - t_1}$$

## B. Quantité d'électricité transportée par un courant en créneaux

Soit le signal  $i(t)$  de période  $T = t_2 - t_1$ .

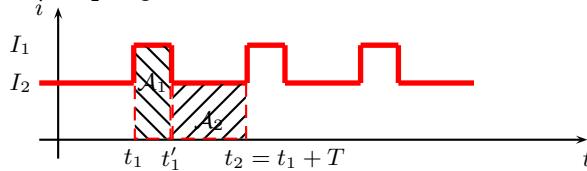


FIG. 3 – Courant en créneaux

La quantité d'électricité transportée par ce courant entre  $t_1$  et  $t_2$  est :

$$Q_{12} = I_1(t'_1 - t_1) + I_2(t_2 - t'_1)$$

$$Q_{12} = \mathcal{A}_1 + \mathcal{A}_2$$

Nous en déduisons  $\bar{i}$  la valeur moyenne de  $i(t)$  :

$$\bar{i} = \frac{Q_{12}}{T} = \frac{\mathcal{A}_1 + \mathcal{A}_2}{T}$$

**Attention :** Si la courbe représentative de  $i(t)$  se situe en dessous de l'axe des abscisses on doit affecter à l'aire calculée un signe moins («aire algébrique négative») et on somme les aires en prenant bien soin de prendre en compte leur signe.

On peut aussi (c'est équivalent), choisir de ne considérer que des aires positives («aire géométrique»); dans ce cas il faut ajouter ou soustraire les aires selon que la courbe se situe au dessus ou au dessous de l'axe des abscisses.

## C. Calcul d'une valeur moyenne

$$U_{moy} = \bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

$\int_0^T u(t) dt$  désigne l'aire (algébrique) entre la courbe représentative de  $u(t)$  et l'axe des abscisses entre  $t = 0$  et  $t = T$ .

## D. Mesure d'une valeur moyenne

Pour mesurer une tension moyenne on peut utiliser :

- un voltmètre numérique en position DC
- un voltmètre magnétoélectrique
- un oscilloscope

En position DC on observe le signal complet c'est à dire la composante continue et la composante alternative.

En position AC on n'observe que la composante alternative. Lors du passage de DC vers AC sur l'oscilloscope, l'oscillogramme subit une translation verticale de  $U_{moy}$ .

## E. Exercices d'applications

Calculez la valeur moyenne des signaux suivants :

## V. Valeur efficace d'une grandeur périodique

### A. Définition d'une valeur efficace

Soit 2 montages :

- dans le premier montage, on alimente une lampe avec un générateur de tension continu sous une tension  $U_1$ .
- dans le second montage, on alimente la même lampe avec un générateur basse fréquence sous une tension variable  $u_2(t)$ .

On suppose que la lampe est modélisable par une résistance  $R$ . On souhaite que dans les 2 cas la lampe brille de la même manière c'est à dire qu'elle dissipe en moyenne la même puissance moyenne  $P = P_1 = P_2$ .

- Dans le premier cas la puissance moyenne dissipée est  $P_1 = \frac{U_1^2}{R}$
- Dans le deuxième cas,
  - la puissance instantanée dissipée par la lampe vaut  $p_2(t) = \frac{u_2^2}{R}$
  - la puissance moyenne dissipée par la lampe vaut  $P_2 = \overline{p_2(t)} = \frac{\overline{u_2^2}}{R}$

En égalant  $P_1$  et  $P_2$  on peut ainsi définir la valeur efficace  $U$  ou  $U_{eff}$  de  $u(t)$   $U^2 = U_{eff}^2 = \overline{u^2}$  soit :

$$U = U_{eff} = \sqrt{\overline{u^2}}$$

### B. Calcul d'une valeur efficace

$$U_{eff} = U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

Pour calculer la valeur efficace  $U$  de la tension  $u(t)$ , il faut :

- Représenter la tension  $u(t)$  élevée au carré ( $u^2(t)$ ).
- Calculer la valeur moyenne  $\overline{u^2}$  de  $u^2(t)$ .
- Prendre la racine carré du résultat précédent

### C. Mesure d'une valeur efficace

Pour mesurer une tension efficace, on peut utiliser :

- un voltmètre numérique Root Mean Square (RMS) en position AC+DC, un tel appareil prélève la tension sur une période puis l'élève au carré (Square), puis calcule la valeur moyenne (Mean) et prend la racine carré de cette valeur moyenne (Root)
- un voltmètre ferromagnétique (uniquement pour des mesures en basse fréquence)

## VI. Valeur efficace, valeur moyenne, composante alternative

### A. Décomposition d'un signal quelconque en composante alternative et valeur moyenne

Un signal quelconque  $u(t)$  est toujours décomposable ainsi :

$$u(t) = \overline{u} + u_a(t)$$

- $u(t)$  : signal quelconque
- $\overline{u}$  : valeur moyenne de  $u(t)$
- $u_a(t)$  : composante alternative (de valeur moyenne nulle) de  $u(t)$

### B. Relation entre valeur efficace et valeur moyenne

Entre valeurs efficaces et valeurs moyennes, nous avons la relation :  $U = \sqrt{\overline{u^2} + U_a^2}$

- $U$  : valeur efficace de  $u(t)$  (mesurée avec un voltmètre alternatif RMS en position AC+DC)
- $\overline{u}$  : valeur moyenne de  $u(t)$  (mesurée avec un voltmètre continu en position DC ou =)
- $U_a$  : valeur efficace de la composante alternative

### C. Exercice d'application

Soit un signal  $u(t)$  rectangulaire de période  $T$  compris entre 5 V et 1 V. Ce signal a un rapport cyclique  $\alpha$  de  $1/2$  c'est à dire qu'il est égal à 5 V de  $t = 0$  à  $t = \alpha T$  et égal 1 V de  $t = \alpha T$  à  $t = T$ .

1. Représentez ce signal  $u(t)$ .
2. Représentez la composante alternative  $u_a(t)$  de ce signal.
3. Calculez la valeur moyenne  $\overline{u}$  de  $u(t)$ .
4. Calculez directement la valeur efficace  $U$  de  $u(t)$  (à l'aide de la représentation de  $u(t)$  élevé au carré).

5. Calculez la valeur efficace  $U_a$  de la composante alternative  $u_a(t)$  (à l'aide de la représentation de  $u_a(t)$  élevé au carré).
6. Vérifiez numériquement la relation :  $U = \sqrt{\bar{u}^2 + U_a^2}$ .

Mêmes questions avec :

- un signal compris entre 1 V et -1 V de rapport cyclique  $\alpha = 0.5$
- un signal compris entre 1 V et -3 V de rapport cyclique  $\alpha = 0.5$
- un signal compris entre 5 V et 0 V de rapport cyclique  $\alpha = 0.7$

## VII. Décomposition/recomposition d'un signal périodique à l'aide de signaux sinusoïdaux

### A. Décomposition en signaux sinusoïdaux

Tout signal alternatif de fréquence  $f$  est décomposable en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples de  $f$ .

Une telle décomposition fait appel à la notion mathématique de *série de Fourier*.

$$u(t) = \bar{u} + \sum_{n=1}^{\infty} u_n \cos(n\omega t + \varphi_n)$$

### B. Exemple d'un signal rectangulaire

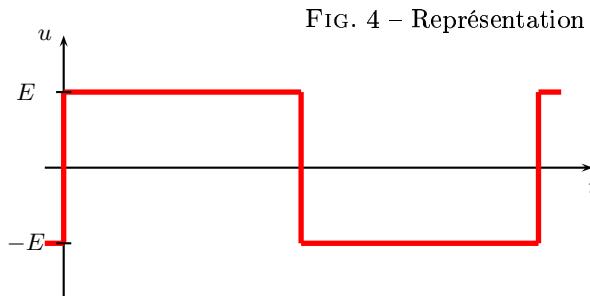


FIG. 4 – Représentation d'un signal rectangulaire

Ce signal est décomposable ainsi :

$$u(t) = \frac{4E}{\pi} \sin \omega t + \frac{4E}{3\pi} \sin 3\omega t + \frac{4E}{5\pi} \sin 5\omega t + \frac{4E}{7\pi} \sin 7\omega t + \frac{4E}{9\pi} \sin 9\omega t + \dots = \frac{4E}{\pi} \sum_{n_{impair}=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin n\omega t$$

Une reconstitution avec un nombre limité d'harmoniques ne permet pas de reconstituer correctement un signal rectangulaire (notamment à cause des fronts raides). On arrive à un résultat proche du signal d'origine en augmentant le nombre d'harmoniques.

On remarque que seul les harmoniques impaires interviennent et leurs amplitudes diminuent comme  $\frac{1}{n}$ .

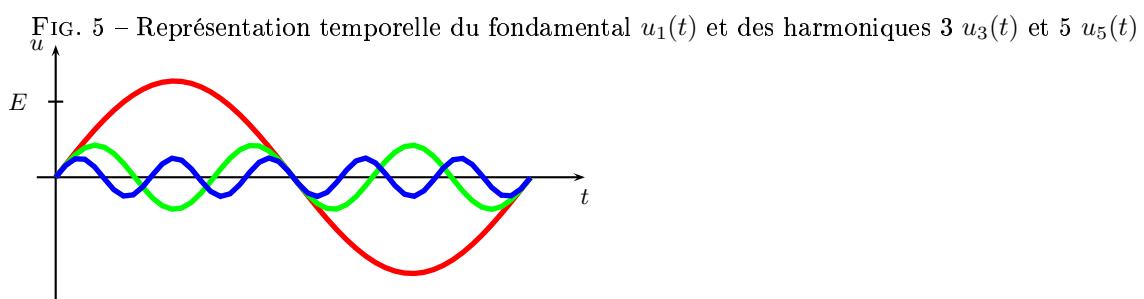


FIG. 5 – Représentation temporelle du fondamental  $u_1(t)$  et des harmoniques 3  $u_3(t)$  et 5  $u_5(t)$

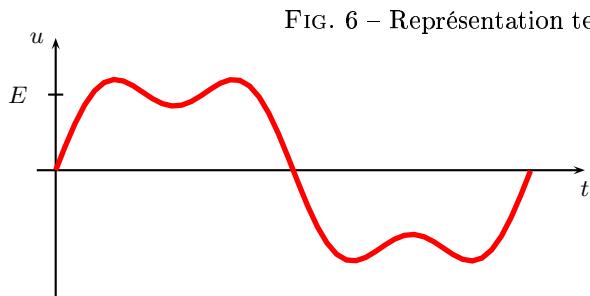
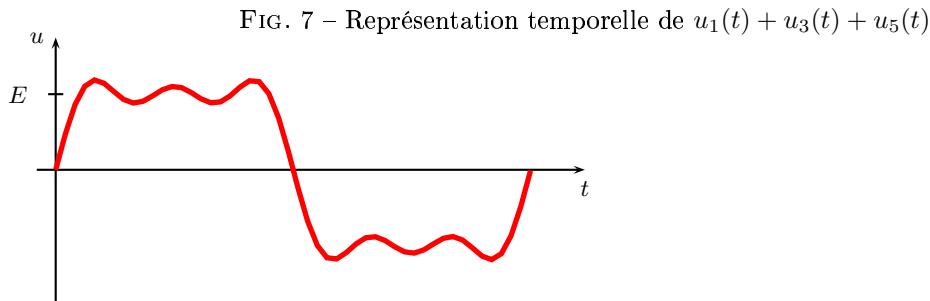
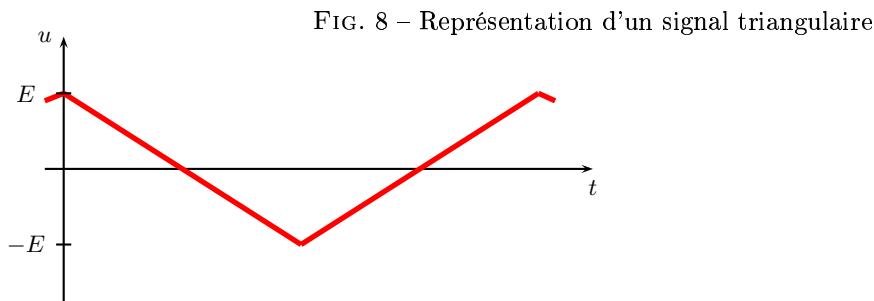


FIG. 6 – Représentation temporelle de  $u_1(t) + u_3(t)$



### C. Exemple d'un signal triangulaire



Ce signal est décomposable ainsi :

$$u(t) = \frac{8E}{\pi^2} \cos \omega t + \frac{8E}{3^2 \pi^2} \cos 3\omega t + \frac{8E}{5^2 \pi^2} \cos 5\omega t + \frac{8E}{7^2 \pi^2} \cos 7\omega t + \frac{8E}{9^2 \pi^2} \cos 9\omega t + \dots$$

$$u(t) = \frac{8E}{\pi^2} \sum_{n_{impair}=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \cos n\omega t$$

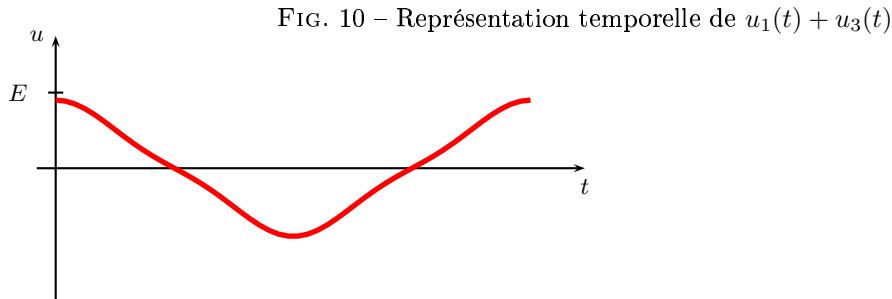
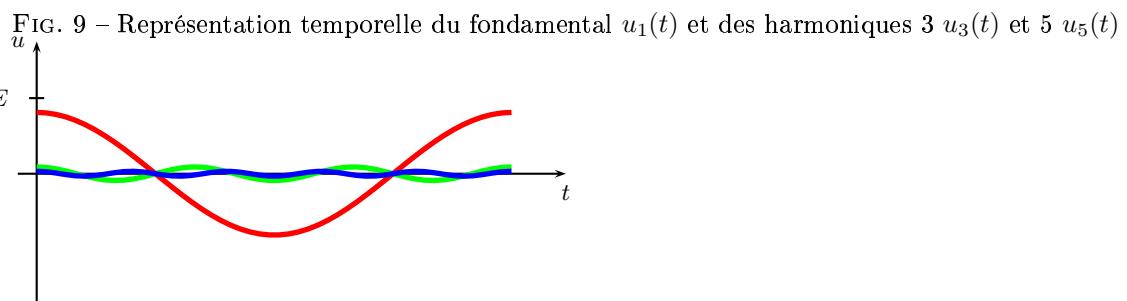
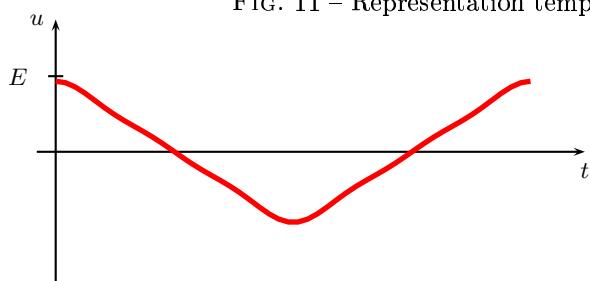


FIG. 11 – Représentation temporelle de  $u_1(t) + u_3(t) + u_5(t)$ 

On remarque que seules les harmoniques impaires interviennent et leurs amplitudes diminuent comme  $\frac{1}{n^2}$  c'est à dire plus rapidement que précédemment, ce qui est compréhensible car un signal triangulaire est plus «proche» d'une sinusoïde qu'un signal rectangulaire.

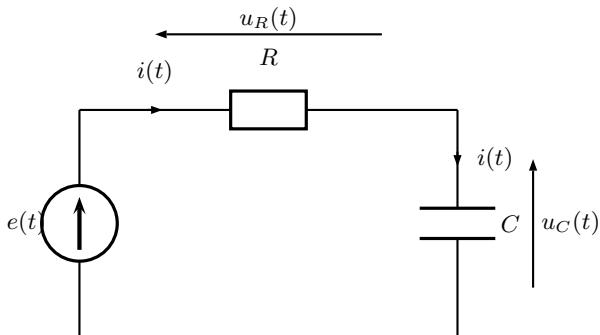


# Régimes transitoires

## I. Étude d'un circuit RC

### A. Montage

Soit le montage suivant :



### B. Mise en équation

D'après la loi des mailles on a :  $e(t) - u_R(t) - u_C(t) = 0$ .

En convention récepteur sur le résistor, on a d'après la loi d'Ohm  $u_R = Ri(t)$ .

En convention récepteur, le condensateur parcouru par un courant  $i(t)$  a à ses bornes la tension  $u_C(t)$  telle que :

$$i(t) = C \frac{du_C(t)}{dt}$$

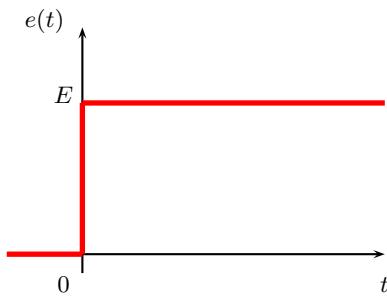
On en déduit ainsi l'équation différentielle suivante :

$$RC \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = e(t)$$

La solution de cette équation est une *fonction exponentielle*.

### C. Étude de la charge du condensateur

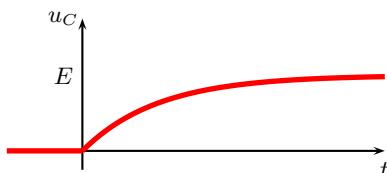
On impose le signal d'entrée  $e(t)$  suivant :



Lors de la charge du condensateur on impose au circuit RC une tension constante  $E$ . L'équation qui régit la tension aux bornes du condensateur est :

$$RC \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = E$$

#### 1. Allure de la tension aux bornes du condensateur



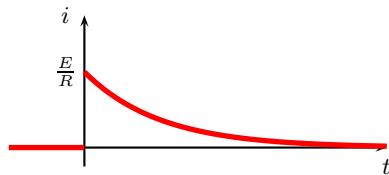
On peut mesurer la constante de temps  $\tau$  (tau) en traçant l'asymptote horizontale ainsi que la tangente à l'origine. Pour un circuit RC, cette constante de temps vaut :

$$\tau = RC$$

Au bout d'un temps  $t = 3\tau$  le condensateur est quasiment complètement chargé (en fait il est chargé à 95%) :  $u_C(t = 3\tau) = 0,95E$ .

Au bout d'un temps  $t = \tau$  le condensateur est chargé à 63% :  $u_C(t = \tau) = 0,63E$ .

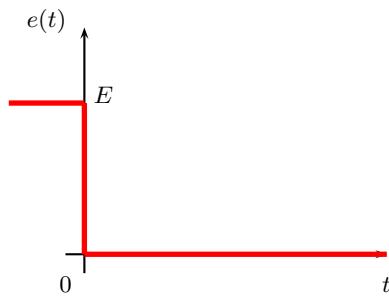
## 2. Allure du courant dans le circuit



On peut mesurer également la constante de temps pour l'évolution du courant dans le circuit et remarquer que c'est bien la même que pour l'évolution de la tension aux bornes du condensateur.

## D. Étude de la décharge du condensateur

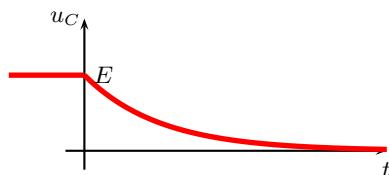
On impose le signal d'entrée  $e(t)$  suivant :



Lors de la charge du condensateur on impose au circuit RC une tension constante de 0V.

$$RC \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = 0$$

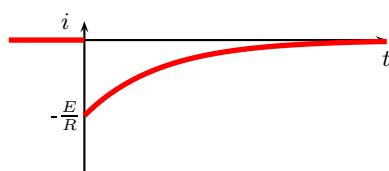
## 1. Allure de la tension aux bornes du condensateur



Au bout d'un temps  $t = 3\tau$  le condensateur est quasiment déchargé (en fait il n'est chargé plus qu'à 5%) :  $u_C(t = 3\tau) = 0,05E$ .

Au bout d'un temps  $t = \tau$  le condensateur est chargé à 100%-63%=37% :  $u_C(t = \tau) = 0,37E$ .

## 2. Allure du courant dans le circuit



## E. Continuité ou discontinuité des grandeurs étudiées

### 1. Continuité de la tension aux bornes du condensateur

À l'aide des oscilloscopes ci-dessus on peut vérifier qu'à l'instant  $t = 0$  (un peu avant et un peu après) il y a **continuité de la tension** aux bornes du condensateur.

Ceci se résume en écrivant :  $u_C(t = 0^-) = u_C(t = 0^+)$ .

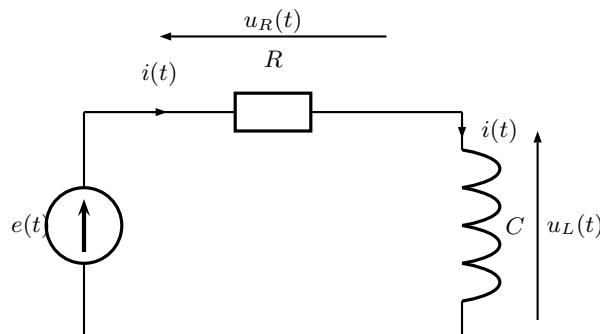
## 2. Discontinuité du courant dans le circuit

À l'aide des oscillogrammes ci-dessus on peut vérifier qu'à l'instant  $t = 0$  (un peu avant et un peu après) il y a **discontinuité du courant** dans le circuit. Ceci se résume en écrivant :  $i_L(t = 0^-) \neq i_L(t = 0^+)$ .

## II. Étude d'un circuit RL

### A. Montage

Soit le montage suivant :



### B. Mise en équation

D'après la loi des mailles on a :  $e(t) - u_R(t) - u_L(t) = 0$ .

En convention récepteur sur le résistor, on a d'après la loi d'Ohm  $u_R = Ri(t)$ .

En convention récepteur, la bobine parcourue par un courant  $i(t)$  a à ses bornes la tension  $u_L(t)$  telle que :

$$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

On a ainsi  $L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) = e(t)$ . Ce qui s'écrit encore :

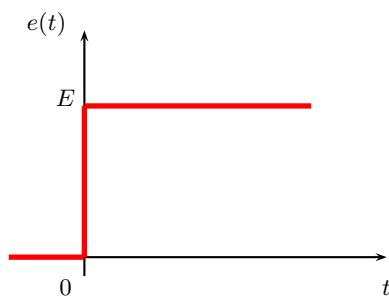
$$\frac{di(t)}{dt} + \frac{R}{L}i(t) = \frac{e(t)}{L}$$

En regardant l'équation aux dimensions (vérification des unités) de cette dernière relation on peut déduire que la grandeur  $\frac{R}{L}$  est l'inverse d'un temps donc on peut, pour un circuit RL définir la constante de temps  $\tau$  :

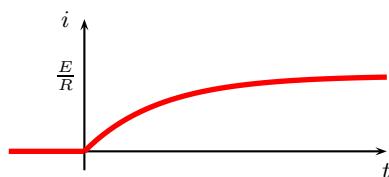
$$\tau = \frac{L}{R}$$

### C. Établissement du courant dans la bobine

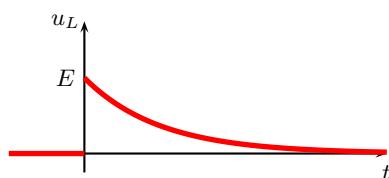
On impose le signal d'entrée  $e(t)$  suivant :



#### 1. Allure du courant traversant la bobine

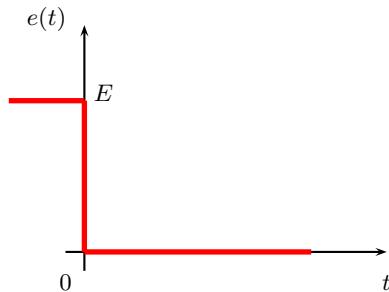


#### 2. Allure de la tension aux bornes de la bobine

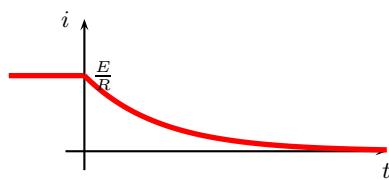


## D. Annulation du courant dans la bobine

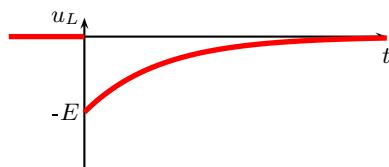
On impose le signal d'entrée  $e(t)$  suivant :



### 1. Allure du courant traversant la bobine



### 2. Allure de la tension aux bornes de la bobine



## E. Continuité ou discontinuité des grandeurs étudiées

### 1. Continuité du courant dans la bobine

À l'aide des oscillogrammes ci-dessus on peut vérifier qu'à l'instant  $t = 0$  (un peu avant et un peu après) il y a **continuité du courant** dans le circuit. Ceci se résume en écrivant :

$$i_L(t = 0^-) = i_L(t = 0^+)$$

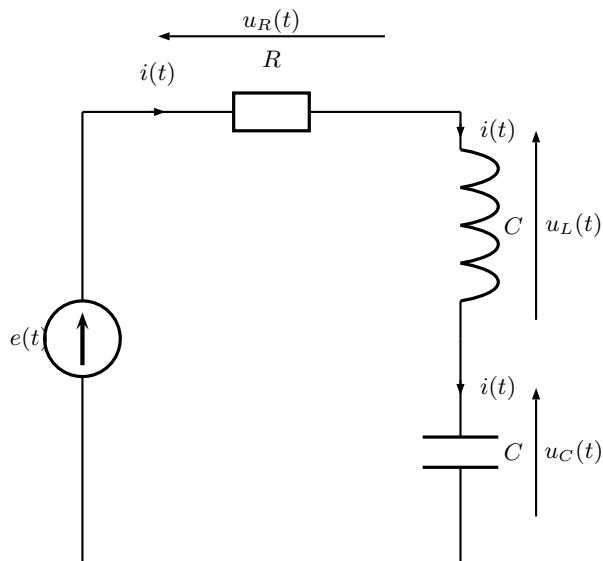
### 2. Discontinuité de la tension aux bornes de la bobine

À l'aide des oscillogrammes ci-dessus on peut vérifier qu'à l'instant  $t = 0$  (un peu avant et un peu après) il y a **discontinuité de la tension** aux bornes de la bobine. Ceci se résume en écrivant :

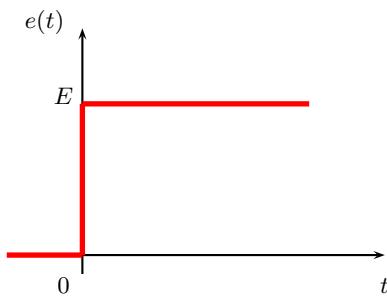
$$u_L(t = 0^-) \neq u_L(t = 0^+)$$

### III. Étude d'un circuit RLC

#### A. Montage



On impose le signal d'entrée  $e(t)$  suivant :



#### B. Mise en équation

D'après la loi des mailles on a :  $e(t) - u_R(t) - u_L(t) - u_C(t) = 0$ .

En appliquant la loi d'Ohm sur le résistor, on a  $u_R(t) = Ri(t)$ .

Pour la bobine, on a  $u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$  et pour le condensateur  $i(t) = C \frac{du_C(t)}{dt}$ .

On obtient ainsi :  $Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + u_C(t) = e(t)$

On en déduit ainsi  $RC \frac{du_C(t)}{dt} + LC \frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + u_C = e(t)$ .

Il s'agit d'une équation différentielle du second ordre que l'on peut réécrire :

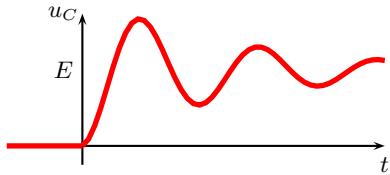
$$\frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C}{LC} = \frac{e(t)}{LC}$$

## C. 3 régimes transitoires possibles

En faisant varier la résistance  $R$  on peut observer trois régimes de fonctionnement. La résistance  $R$  joue sur l'amortissement du système.

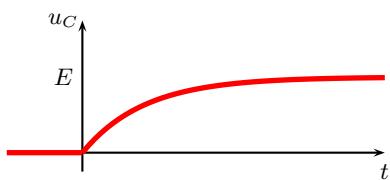
### 1. Régime pseudo-périodique

On obtient ce régime lorsqu'on diminue la résistance  $R$ . Il y a des oscillations qui sont plus ou moins amorties selon la résistance.



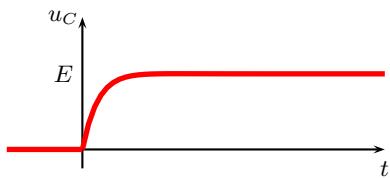
### 2. Régime apériodique

Plus  $R$  est importante plus l'amortissement du système est important car l'énergie du système est dissipée par effet Joule dans cette résistance. S'il n'y a pas d'oscillations, le régime est dit apériodique.



### 3. Régime critique

C'est le régime limite entre les deux précédents. On peut montrer que l'on a ce régime pour une résistance critique  $R_C = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ .





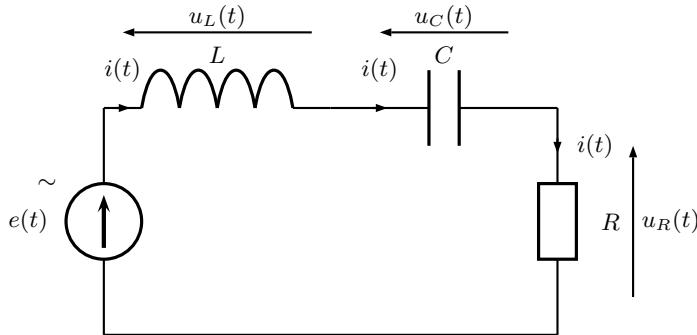
# Régimes sinusoïdaux



# Régimes sinusoïdaux

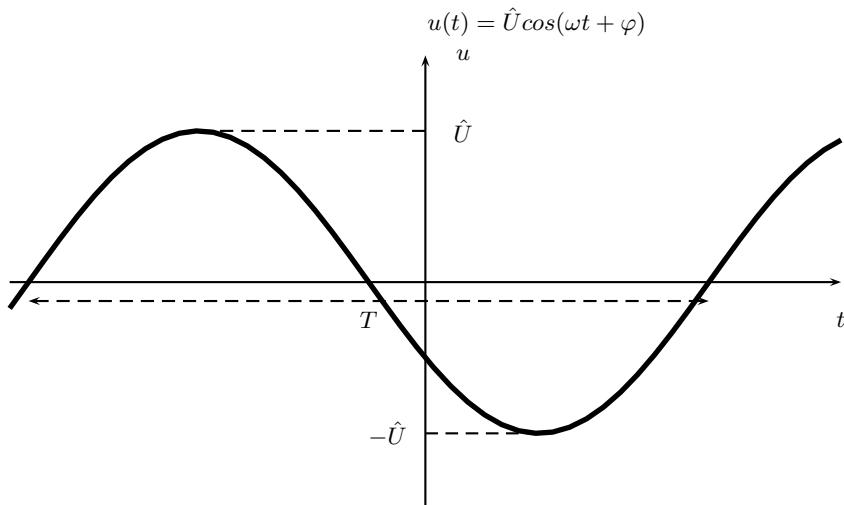
## I. Introduction

Nous nous intéressons dans ce chapitre aux circuits électriques fonctionnant en régime sinusoïdal établi. Dans un tel circuit, toutes les tensions et les intensités sont des fonctions sinusoïdales du temps et de même fréquence  $f$ .



## II. Expression d'une grandeur sinusoïdale

Une tension  $u$  est dite sinusoïdale si elle peut s'écrire :



**Remarque :** on peut également écrire une grandeur sinusoïdale avec la fonction  $\sin$ , cela n'a que pour effet de décaler  $\varphi$  de  $\pi/2$ .

### A. Amplitude d'une grandeur sinusoïdale

L'amplitude d'une grandeur sinusoïdale est la plus grande valeur qu'elle peut atteindre.  
 $\hat{U}$  est donc l'amplitude de  $u$

### B. Pulsation d'une grandeur sinusoïdale

$\omega$  est la pulsation de la grandeur sinusoïdale  $u$ .

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

- $\omega$  : pulsation en radian par seconde ( $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )
- $f$  : fréquence en hertz ( $\text{Hz}$ )
- $T$  : période en secondes ( $\text{s}$ )

### C. Phase à l'origine

La phase à l'origine (des temps)  $\varphi$  dépend de l'instant choisi comme origine. En pratique on choisit une tension ou un courant du circuit comme «origine des phases» et pour lequel la phase à l'origine des temps est nulle.

## D. Valeur moyenne

La valeur moyenne d'une grandeur sinusoïdale est nulle car quelque soit l'instant  $t_1$  considéré, si la valeur prise à cet instant vaut  $u(t_1)$ , il existe toujours un instant  $t_2 = t_1 + \frac{T}{2}$  tel que la valeur prise à cet instant  $t_2$  est exactement l'opposé ( $u(t_2) = -u(t_1)$ ).

$$U_{moy} = \bar{u} = 0$$

## E. Valeur efficace

Calculons la valeur efficace de  $u(t) = \hat{U}\cos(\omega t + \varphi)$ .

Pour faire ce calcul il faut d'abord éléver  $u(t)$  au carré  $u^2(t) = \hat{U}^2\cos^2(\omega t + \varphi)$  :

Ensuite il faut calculer  $\overline{u^2(t)}$  la valeur moyenne de  $u^2(t)$ .

Pour calculer  $\overline{u^2}$  développons  $u^2(t) = \hat{U}^2\cos^2(\omega t + \varphi)$  en utilisant  $\cos^2 a = \frac{1+\cos(2a)}{2}$

On a alors  $u^2(t) = \hat{U}^2 \frac{1+\cos(2\omega t+2\varphi)}{2} = \frac{\hat{U}^2}{2} + \frac{\hat{U}^2}{2}\cos(2\omega t+2\varphi)$ .

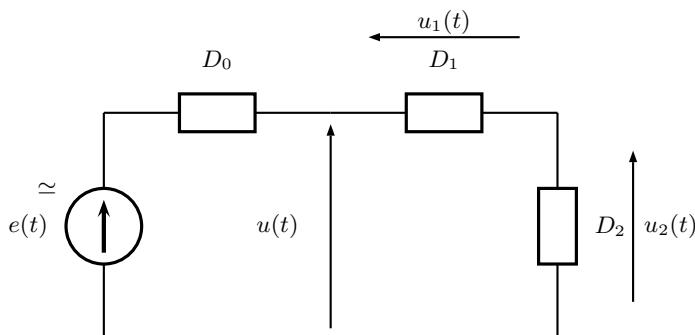
Cette expression se décompose en un terme constant  $\frac{\hat{U}^2}{2}$  et un terme sinusoïdal  $\frac{\hat{U}^2}{2}\cos(2\omega t+2\varphi)$ ; ce dernier terme a donc une valeur moyenne nulle, on en déduit donc  $\overline{u^2} = \frac{\hat{U}^2}{2}$

Il suffit alors de prendre la racine carré de  $\overline{u^2}$  et on obtient  $U$  la valeur efficace de  $u(t)$ .

$$U_{eff} = U = \sqrt{\overline{u^2}} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$

## III. Représentation d'une grandeur sinusoïdale

On impose avec un GBF une tension  $u(t)$  aux bornes de trois dipôles inconnus.



On visualise aux bornes de deux dipôles inconnus les tensions  $u_1(t)$  et  $u_2(t)$ .

On écrit alors leur représentation temporelle.

1.  $u_1(t) = 3\sqrt{2}\cos\omega t$  et  $u_2(t) = 4\sqrt{2}\cos\omega t$
2.  $u_1(t) = 5\sqrt{2}\cos\omega t$  et  $u_2(t) = 2\sqrt{2}\cos(\omega t + \pi)$
3.  $u_1(t) = 2\sqrt{2}\cos\omega t$  et  $u_2(t) = 5\sqrt{2}\cos(\omega t + \frac{\pi}{3})$

On veut calculer la tension résultante  $u(t)$  aux bornes de l'association des deux dipôles  $D_1$  et  $D_2$ .

## A. Calcul direct

En utilisant les formules de trigonométrie, nous allons montrer que l'on est capable de déterminer l'expression de la tension  $u(t)$ .

D'après la loi des tensions on a  $u(t) = u_1(t) + u_2(t)$ .

1.  $u(t) = 3\sqrt{2}\cos\omega t + 4\sqrt{2}\cos\omega t = 7\sqrt{2}\cos\omega t$   
 $u(t)$  est une tension sinusoïdale de pulsation  $\omega$ , de valeur efficace  $U = 7V$  et de phase à l'origine  $\varphi = 0$ .

2.  $u(t) = 5\sqrt{2}\cos\omega t + 2\sqrt{2}\cos(\omega t + \pi) = 5\sqrt{2}\cos\omega t - 2\sqrt{2}\cos\omega t = 3\sqrt{2}\cos\omega t$   
 $u(t)$  est une tension sinusoïdale de pulsation  $\omega$ , de valeur efficace  $U = 3V$  et de phase à l'origine  $\varphi = 0$ .

Remarque : on ne peut pas appliquer la loi des mailles aux valeurs efficaces, si on l'avait fait on aurait trouvé  $7 V$  ce qui est faux.

3.  $u(t) = 3\sqrt{2}\cos\omega t + 5\sqrt{2}\cos(\omega t + \frac{\pi}{3})$

En utilisant la formule de trigonométrie  $\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b)$  on trouve :

$$u(t) = 3\sqrt{2}\cos\omega t + 5\sqrt{2}\cos\omega t \cos\pi/3 - 5\sqrt{2}\sin\omega t \sin\pi/3$$

$$u(t) = 3\sqrt{2}\cos\omega t + \frac{5\sqrt{2}}{2}\cos\omega t - 5\sqrt{2}\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\omega t$$

$$\text{soit } u(t) = \frac{11\sqrt{2}}{2}\cos\omega t - \frac{5\sqrt{6}}{2}\sin\omega t \text{ que l'on peut mettre sous la forme } u(t) = \hat{U}\cos(\omega t + \varphi)$$

$$\text{avec } \hat{U} = \sqrt{(\frac{11\sqrt{2}}{2})^2 + (\frac{5\sqrt{6}}{2})^2} = 7\sqrt{2} \text{ et } \tan\varphi = \frac{\frac{5\sqrt{6}}{2}}{\frac{11\sqrt{2}}{2}} = \frac{5\sqrt{3}}{11}$$

$u(t)$  est une tension sinusoïdale de pulsation  $\omega$ , de valeur efficace  $U = 7 \text{ V}$  et de phase à l'origine  $\varphi$  telle que  $\tan\varphi = \frac{5\sqrt{3}}{11}$  soit  $\varphi \simeq 38^\circ$ .

Nous voyons avec ces trois calculs qu'il est difficile de continuer d'utiliser le calcul direct lorsque nous manipulons des grandeurs sinusoïdales. Nous allons voir deux «outils» permettant de faire le même travail de manière plus simple : les vecteurs de Fresnel et les nombres complexes.

## B. Vecteur de Fresnel

Soit la tension  $u(t) = U\sqrt{2}\cos(\omega t + \varphi)$ .

On peut associer à cette tension  $u$  un vecteur  $\vec{U}$  appelé vecteur de Fresnel.

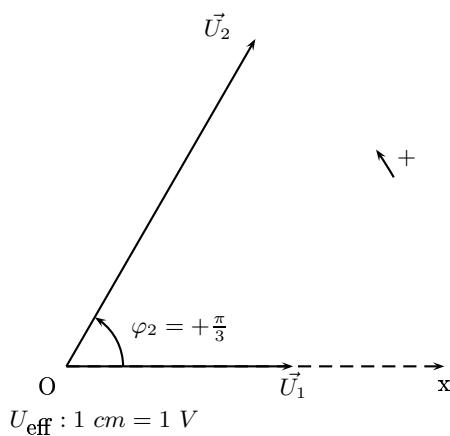
On oriente le plan selon le sens trigonométrique.

On choisit un point origine O.

On choisit un axe Ox origine des phases (généralement horizontal et vers la droite)

Le vecteur de Fresnel  $\vec{U}$  a alors les propriétés suivantes :

- origine au point O
- direction et sens tel que l'angle  $(\vec{Ox}, \vec{U}) = \varphi$
- norme proportionnelle à  $U$  la valeur efficace de  $u$



Exercice d'application :

Reprendons le cas 3 :  $u_1(t) = 3\sqrt{2}\cos\omega t$  et  $u_2(t) = 5\sqrt{2}\cos(\omega t + \frac{\pi}{3})$ .

On considérera que la tension  $u_1$  est prise comme origine des phases.

1. Représentez les vecteurs de Fresnel  $\vec{U}_1$  et  $\vec{U}_2$ .
2. Déduisez le vecteur de Fresnel  $\vec{U}$  représentatif de  $u(t)$ .
3. Déduisez la valeur efficace  $U$  de  $u$  et sa phase à l'origine  $\varphi$ .
4. Exprimez  $u(t)$ .

## C. Représentation complexe

Soit la tension  $u(t) = U\sqrt{2}\cos(\omega t + \varphi)$ .

On peut associer à cette tension  $u$  un nombre complexe  $\underline{U}$ .

Ce nombre complexe a pour module  $U$ , la valeur efficace de  $u$  et pour argument  $\varphi$  la phase à l'origine de  $u$ .

$$\underline{U} = (U, \varphi) = U e^{j\varphi} = U \cos\varphi + j U \sin\varphi \text{ avec } j^2 = -1$$

Exercice d'application :

Reprendons le cas 3 :  $u_1(t) = 3\sqrt{2}\cos\omega t$  et  $u_2(t) = 5\sqrt{2}\cos(\omega t + \frac{\pi}{3})$ .

On considérera que la tension  $u_1$  est prise comme origine des phases.

1. Donnez la représentation complexe  $\underline{U}_1$  de  $u_1$ .
2. Donnez la représentation complexe  $\underline{U}_2$  de  $u_2$ .
3. Déduisez la représentation complexe  $\underline{U}$  représentatif de  $u$ .
4. Déterminez la valeur efficace  $U$  de  $u$  et sa phase à l'origine  $\varphi$ .
5. Exprimez  $u(t)$ .

## IV. Déphasage entre deux grandeurs sinusoïdales de même fréquence

### A. Définitions et vocabulaire

Considérons les deux grandeurs tension et intensité d'un même circuit électrique fonctionnant en régime sinusoïdal.

$$u(t) = U\sqrt{2}\cos(\omega t + \varphi_u)$$

$$i(t) = I\sqrt{2}\cos(\omega t + \varphi_i)$$

On appelle déphasage de  $i$  par rapport à  $u$  la différence de phase à l'origine  $\varphi_{i/u} = \varphi_u - \varphi_i$ .

Ce déphasage  $\varphi = \varphi_{i/u}$  est l'angle que font entre eux les deux vecteurs de Fresnel associés aux grandeurs  $u$  et  $i$ .

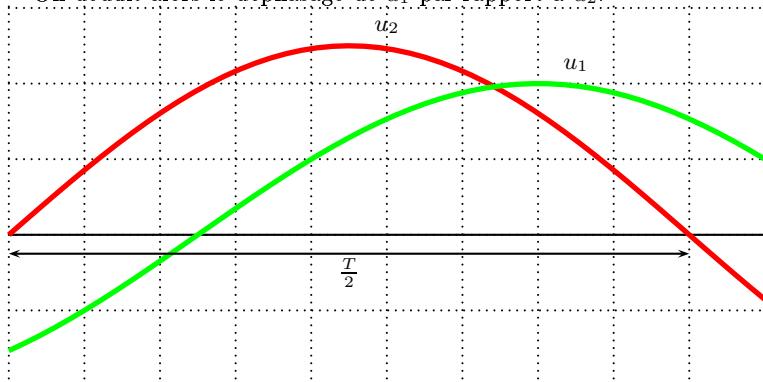
- $\varphi_{i/u} < 0$  : le courant  $i$  est en avance sur la tension  $u$ .
- $\varphi_{i/u} > 0$  : le courant  $i$  est en retard par rapport à la tension  $u$ .
- $\varphi_{i/u} = 0 \text{ rad}$  :  $u$  et  $i$  sont en phase.
- $\varphi_{i/u} = \pi \text{ rad}$  :  $u$  et  $i$  sont en opposition de phase.
- $\varphi_{i/u} = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$  :  $i$  est en quadrature retard par rapport à  $u$ .
- $\varphi_{i/u} = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}$  :  $i$  est en quadrature avance par rapport à  $u$ .

### B. Mesurer un déphasage à l'oscilloscope : «méthode des neuf carreaux»

On observe à l'oscilloscope deux tensions  $u_1$  et  $u_2$  sinusoïdales de même fréquence.

On veut mesurer le déphasage  $\varphi_{u_1/u_2}$  de  $u_1$  par rapport à  $u_2$ .

- On règle le zero des voies  $Y_1$  et  $Y_2$  au même niveau.
- On utilise la touche **VAR X** pour décalibrer la base de temps afin de visualiser une demi-période de  $u_1$  (et de  $u_2$ ) sur **neuf** carreaux.
- On repère les passages par zéro en croissant de  $u_1$  et  $u_2$ .
- On mesure le nombre de carreaux séparant le passage par zéro en croissant de  $u_1$  et celui de  $u_2$ .
- 9 carreaux représentent une demi-période donc  $180^\circ$  donc 1 carreau représente  $\frac{180}{9} = 20^\circ$
- On déduit alors le déphasage de  $u_1$  par rapport à  $u_2$ .



# Dipôles linéaires élémentaires en régime sinusoïdal

## Introduction

L'objectif de ce chapitre est de comprendre le fonctionnement de trois dipôles linéaires élémentaires en régime sinusoïdal.

- conducteur ohmique (ou résistor)
- bobine parfaite (pas de résistance d'enroulement en série)
- condensateur parfait (pas de résistance de décharge en parallèle)

On impose aux bornes de chacun de ces trois dipôles la tension :

$$u(t) = \hat{U} \cos \omega t = U \sqrt{2} \cos \omega t$$

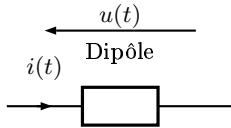
L'intensité du courant traversant le dipôle étudié est de la forme :

$$i(t) = \hat{I} \cos(\omega t - \varphi) = I \sqrt{2} \cos(\omega t - \varphi)$$

où  $\varphi$  est le déphasage de l'intensité  $i$  par rapport à la tension  $u$ ;  $\varphi = (\vec{I}; \vec{U})$  est donc dans la représentation de Fresnel l'angle orienté allant du courant vers la tension.

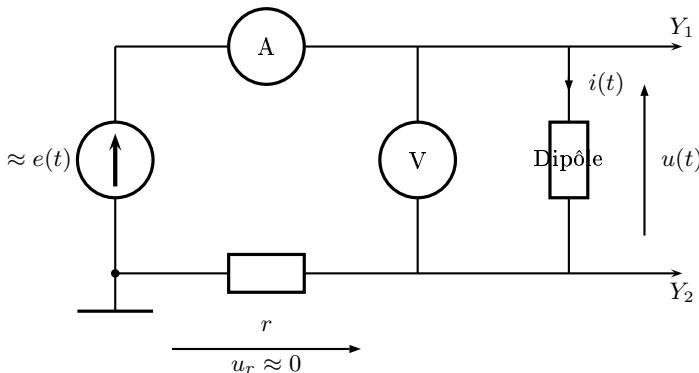
$\varphi > 0$  : l'intensité  $i$  est en retard par rapport à la tension  $u$  (dipôle inductif)

$\varphi < 0$  : l'intensité  $i$  est en avance par rapport à la tension  $u$  (dipôle capacitif)



Le dipôle sera toujours étudié ici en convention récepteur car les trois dipôles indiqués plus haut sont tous passifs.

## Montage

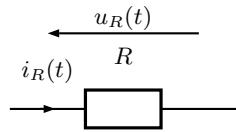


Le résistor  $r$  a une faible résistance (autour d' $1 \Omega$ ) afin de ne pas trop perturber le montage. Il permet de visualiser sur la deuxième voie de l'oscilloscope la tension  $ri(t)$  et donc obtenir «l'image» du courant.

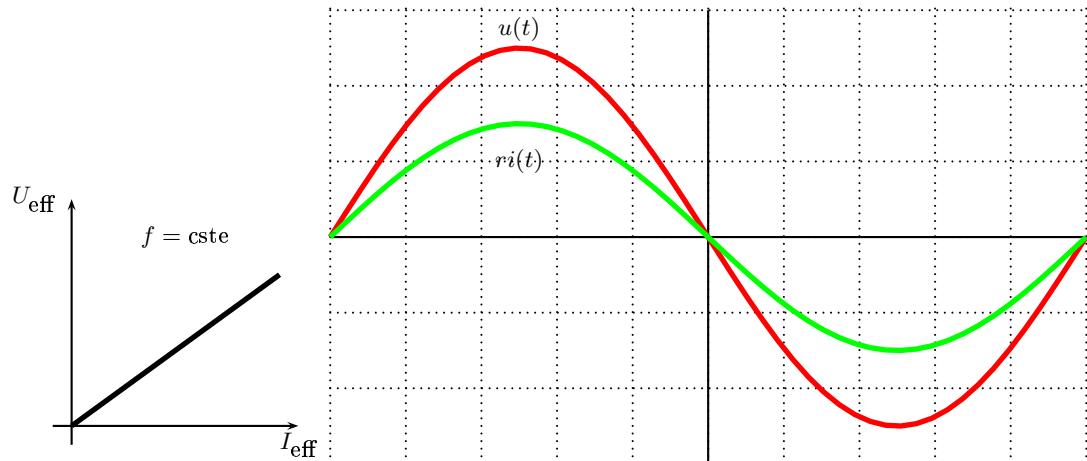
L'ampèremètre est réglé en position **AC** afin de mesurer la valeur efficace  $I$  du courant  $i(t)$ .

Le voltmètre est réglé en position **AC** afin de mesurer la valeur efficace  $U$  de la tension  $u(t)$ .

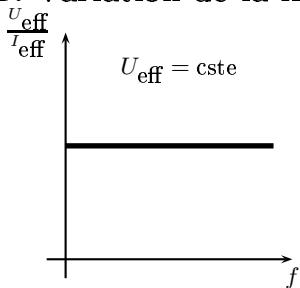
## I. Conducteur ohmique



### A. Variation de la tension efficace $U$ à fréquence $f$ constante



### B. Variation de la fréquence $f$ à tension efficace $U$ constante



## C. Résumé

$$u_R(t) = R i_R(t)$$

$$\underline{U}_R = R \underline{I}_R$$

$$\underline{I}_R = \frac{1}{R} \underline{U}_R$$

$$\underline{Z}_R = R = (R; 0^\circ)$$

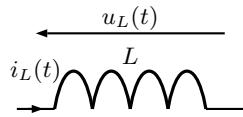
$$Z_R = |\underline{Z}_R| = R$$

$$\Re(\underline{Z}_R) = R \text{ partie réelle}$$

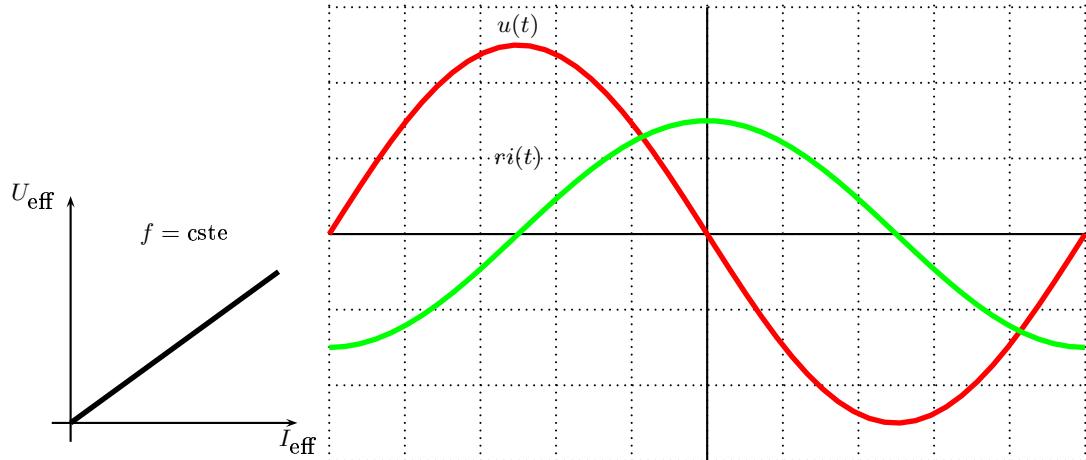
$$\Im(\underline{Z}_R) = 0 \text{ partie imaginaire}$$

$$\underline{Y}_R = \frac{1}{\underline{Z}_R} = \frac{1}{R}$$

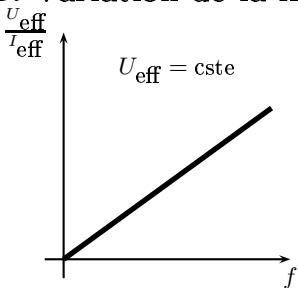
## II. Bobine parfaite



### A. Variation de la tension efficace $U$ à fréquence $f$ constante



### B. Variation de la fréquence $f$ à tension efficace $U$ constante



### C. Résumé

$$u_L(t) = L \frac{di_L}{dt}(t)$$

$$\underline{U}_L = jL\omega \underline{I}_L$$

$$\underline{I}_L = \frac{1}{jL\omega} \underline{U}_L = -\frac{j}{L\omega} \underline{U}_L$$

$$\underline{Z}_L = jL\omega = (L\omega; 90^\circ)$$

$$Z_L = |\underline{Z}_L| = L\omega$$

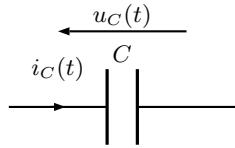
$$\Re(\underline{Z}_L) = 0 \text{ partie réelle}$$

$$\Im(\underline{Z}_L) = L\omega \text{ partie imaginaire}$$

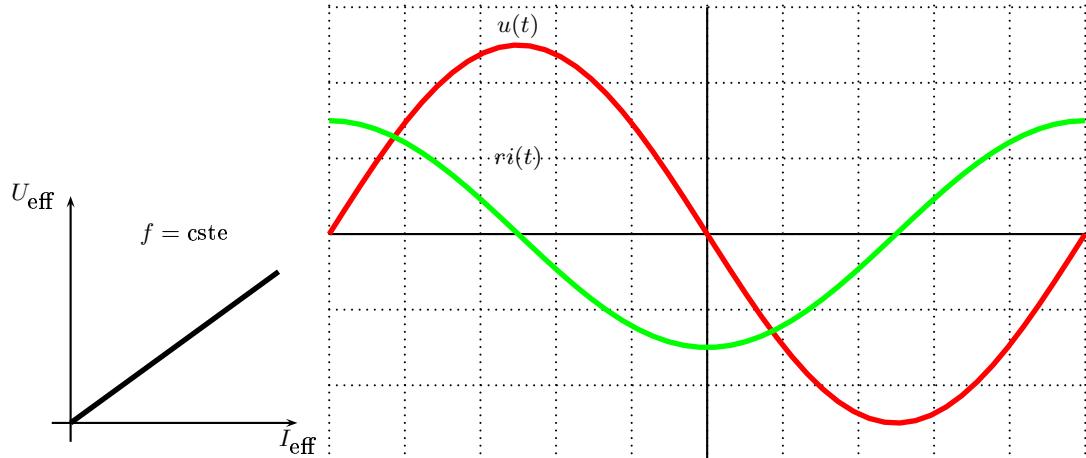
$$\underline{Y}_L = \frac{1}{\underline{Z}_L} = \frac{1}{jL\omega} = \left( \frac{1}{jL\omega}; -90^\circ \right)$$

$$Y_L = |\underline{Y}_L| = \frac{1}{L\omega}$$

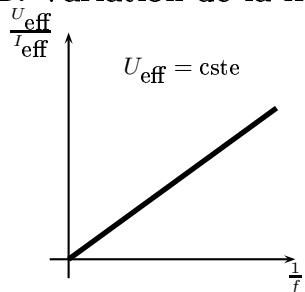
### III. Condensateur parfait



#### A. Variation de la tension efficace $U$ à fréquence $f$ constante



#### B. Variation de la fréquence $f$ à tension efficace $U$ constante



#### C. Résumé

$$i_C(t) = C \frac{du_C}{dt}(t)$$

$$\underline{I}_C = jC\omega \underline{U}_C$$

$$\underline{U}_C = \frac{1}{jC\omega} \underline{I}_L = -\frac{j}{C\omega} \underline{I}_L$$

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{jC\omega} = \left( \frac{1}{C\omega}; -90^\circ \right)$$

$$Z_C = |\underline{Z}_C| = \frac{1}{C\omega}$$

$$\Re(\underline{Z}_C) = 0 \text{ partie réelle}$$

$$\Im(\underline{Z}_C) = \frac{1}{C\omega} \text{ partie imaginaire}$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = jC\omega = (C\omega; 90^\circ)$$

$$Y_C = |\underline{Y}_C| = C\omega$$

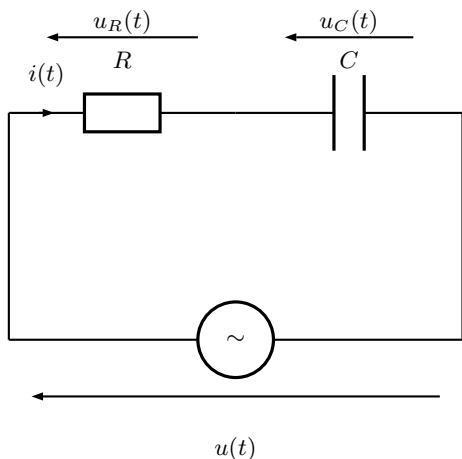
# Association série de dipôles en régime sinusoïdal

## Résonance

Dans tout ce chapitre on considérera des dipôles (RC série, RL série, RLC série) alimentés par une source de tension sinusoïdale.

### I. Étude d'un dipôle RC série

#### A. Montage



#### B. Diagramme de Fresnel

Donnez la relation qui lie  $u(t)$ ,  $u_R(t)$  et  $u_C(t)$ .

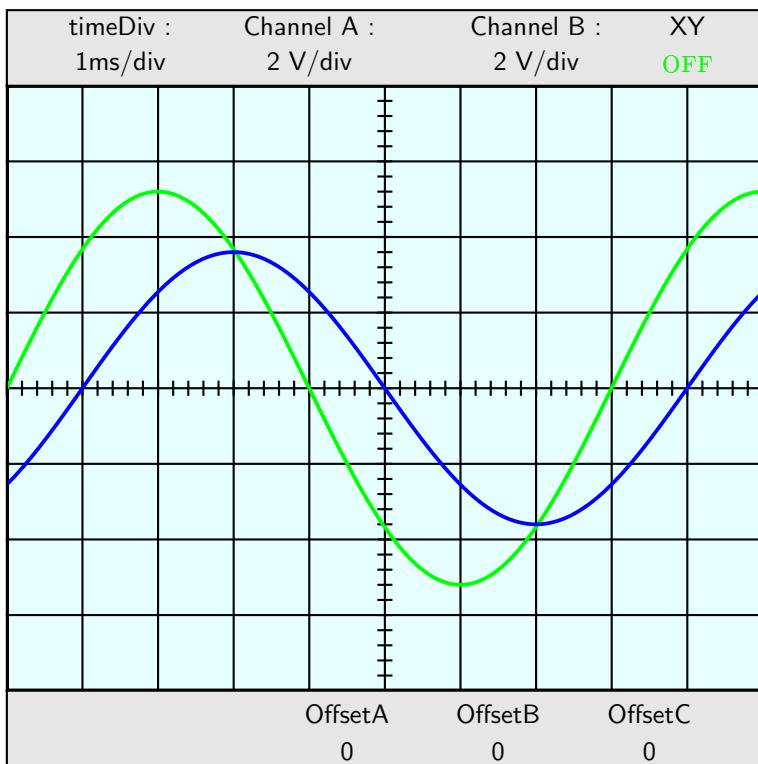
Que devient cette relation avec les vecteurs de Fresnel ?

Tracez dans le diagramme de Fresnel, les vecteurs  $\vec{U}$ ,  $\vec{U}_R$  et  $\vec{U}_C$ .

On choisit le courant  $i$  comme axe de référence des phases car le courant est commun aux deux dipôles.

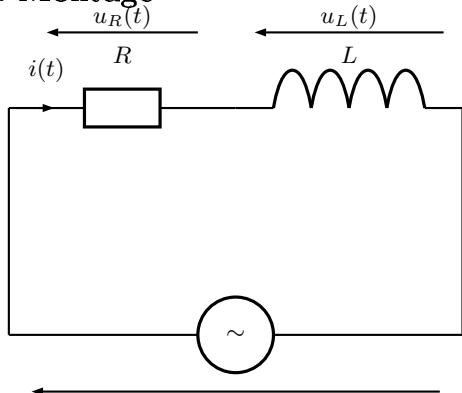


### C. Oscillogrammes

Voie A :  $u(t)$ Voie B :  $u_R(t)$ En utilisant l'oscilloscopogramme ci-dessus, tracez le diagramme de Fresnel à l'échelle ( $1 \text{ V} \leftrightarrow \dots \text{ cm}$ ).

## II. Étude d'un dipôle RL série

### A. Montage



### B. Diagramme de Fresnel

Donnez la relation qui lie  $u(t)$ ,  $u_R(t)$  et  $u_L(t)$ .

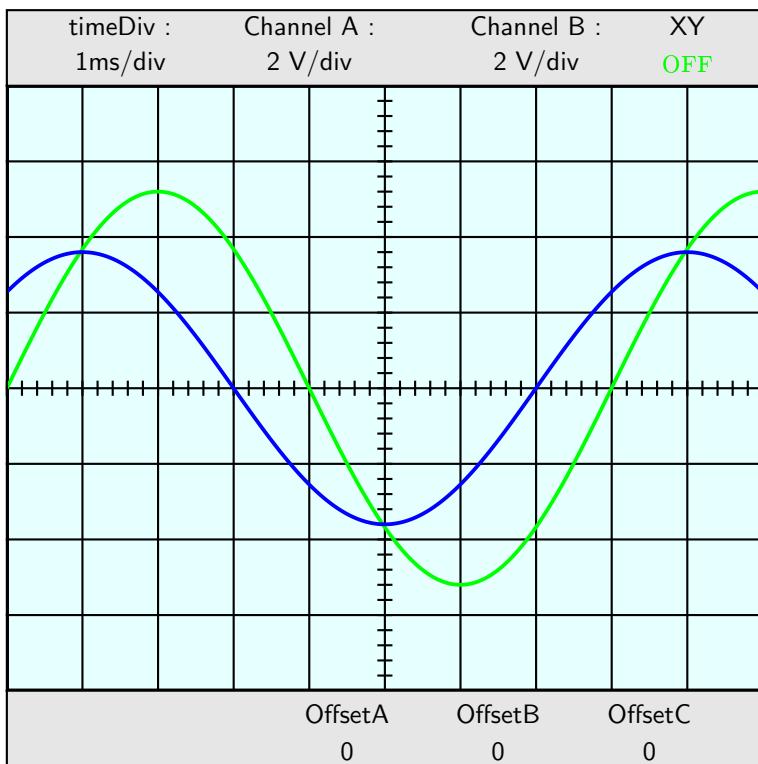
Que devient cette relation avec les vecteurs de Fresnel ?

Tracez dans le diagramme de Fresnel, les vecteurs  $\vec{U}$ ,  $\vec{U}_R$  et  $\vec{U}_L$ .

On choisit le courant  $i$  comme axe de référence des phases car le courant est commun aux deux dipôles.

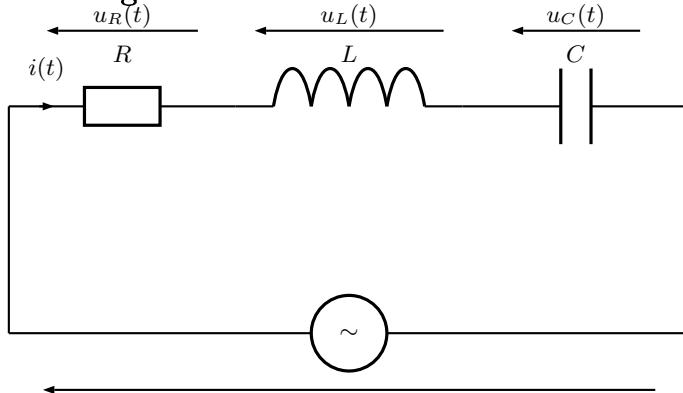


### C. Oscillogrammes

Voie A :  $u(t)$ Voie B :  $u_R(t)$ En utilisant l'oscilloscopogramme ci-dessus, tracez le diagramme de Fresnel à l'échelle ( $1 \text{ V} \leftrightarrow \dots \text{ cm}$ ).

### III. Étude d'un dipôle RLC série

#### A. Montage



On donne les valeurs numériques suivantes :  $R = 100\Omega$ ,  $L = 2,2\text{ mH}$  et  $C = 1\mu\text{F}$ .

#### B. Impédance du dipôle RLC

Soit le dipôle  $R$ ,  $L$ ,  $C$  donné ci-dessus.

1. Donnez l'expression de son impédance complexe. ....
  
2. Donnez l'expression du module de l'impédance complexe. ....
  
3. Donnez l'expression de son argument (déphasage de  $i$  par rapport à  $u$ ). ....
  
- .....

#### C. Variation de la fréquence

##### 1. $f = 1\text{ kHz}$

1. Calculez l'impédance complexe  $\underline{Z}_L$ , donnez son module et son argument.
2. Calculez l'impédance complexe  $\underline{Z}_C$ , donnez son module et son argument.
3. Calculez l'impédance complexe  $\underline{Z}$  de l'association en série de  $R$ ,  $L$  et  $C$ .

##### 2. $f = 10\text{ kHz}$

1. Calculez l'impédance complexe  $\underline{Z}_L$ , donnez son module et son argument.
2. Calculez l'impédance complexe  $\underline{Z}_C$ , donnez son module et son argument.
3. Calculez l'impédance complexe  $\underline{Z}$  de l'association en série de  $R$ ,  $L$  et  $C$ .

##### 3. $f = 3,4\text{ kHz}$

1. Calculez l'impédance complexe  $\underline{Z}_L$ , donnez son module et son argument.
2. Calculez l'impédance complexe  $\underline{Z}_C$ , donnez son module et son argument.
3. Calculez l'impédance complexe  $\underline{Z}$  de l'association en série de  $R$ ,  $L$  et  $C$ .

#### 4. Conclusion

Comment varie le module de l'impédance lorsque la fréquence augmente ?

.....  
Comment varie l'intensité efficace du courant dans le circuit lorsque la fréquence augmente ?

.....  
Comment appelle-t-on ce phénomène ?

.....  
Que vaut alors l'impédance ?

.....  
A quelle fréquence ce phénomène se produit-il ?

## D. Diagramme de Fresnel

Donnez la relation qui lie  $u(t)$ ,  $u_R(t)$ ,  $u_L(t)$  et  $u_C(t)$ .

Que devient cette relation avec les vecteurs de Fresnel ?

Tracez dans le diagramme de Fresnel, les vecteurs  $\vec{U}$ ,  $\vec{U}_R$ ,  $\vec{U}_L$  et  $\vec{U}_C$ .

On choisit le courant  $i$  comme axe de référence des phases car le courant est commun aux deux dipôles.

**1.**  $f > f_0$



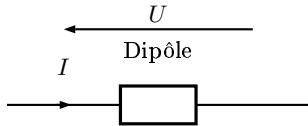
**2.**  $f < f_0$



# Puissances en régime sinusoïdal

## I. Rappels : puissance en régime continu

On étudie dans ce paragraphe un dipôle en *convention récepteur*.



$$P = U \cdot I$$

- $P$  : puissance reçue ( $W$ )
- $U$  : tension ( $V$ )
- $I$  : intensité du courant ( $A$ )

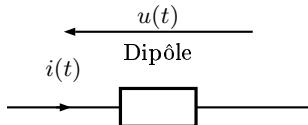
Étudions le signe de la puissance.

- $P > 0$  : le dipôle **reçoit** de la puissance (c'est un récepteur étudié en convention récepteur)
- $P < 0$  : le dipôle **fournit** de la puissance (c'est un générateur étudié en convention récepteur)

## II. Puissance instantanée

### A. Définitions

Dans tout ce cours, le dipôle étudié (résistance, bobine, condensateur) est étudié en *convention récepteur*.



$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

- $p(t)$  : puissance instantanée reçue ( $W$ )
- $u(t)$  : tension ( $V$ )
- $i(t)$  : intensité du courant ( $A$ )

A un instant  $t$  donné si :

- $p(t) > 0$  : le dipôle **reçoit** à cet instant  $t$  de la puissance.
- $p(t) < 0$  : le dipôle **fournit** à cet instant  $t$  de la puissance.

### B. Régime sinusoïdal

On se place à partir de maintenant et jusqu'à la fin du chapitre en régime sinusoïdal.

Le dipôle est toujours considéré en convention récepteur.

On impose aux bornes du dipôle la tension.

$$u(t) = U\sqrt{2}\cos\omega t$$

Le courant qui parcourt ce dipôle est alors :

$$i(t) = I\sqrt{2}\cos(\omega t - \varphi)$$

$\varphi$  représente le déphasage de l'intensité  $i$  par rapport à la tension  $u$ .

Calculons la puissance instantanée reçue par le dipôle.

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = (U\sqrt{2}\cos\omega t) \cdot (I\sqrt{2}\cos(\omega t - \varphi)) = 2 \cdot U \cdot I \cdot \cos\omega t \cdot \cos(\omega t - \varphi)$$

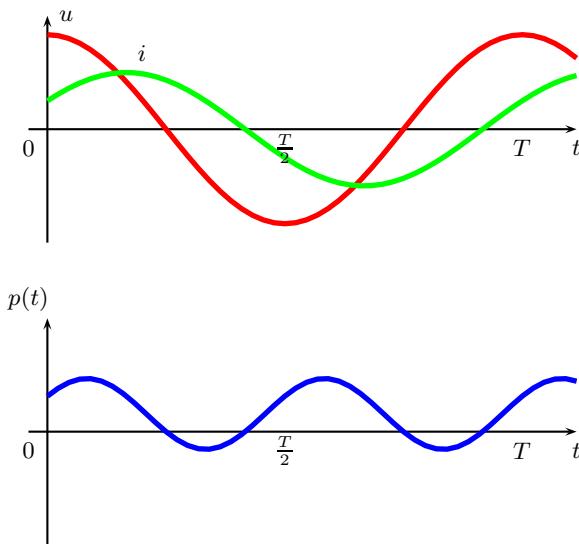
$$\text{On applique la formule de trigonométrie suivante : } \cos(p) \cdot \cos(q) = \frac{\cos(p+q) + \cos(p-q)}{2}$$

On obtient alors :

$$p(t) = UI\cos\varphi + UI\cos(2\omega t - \varphi)$$

Le premier terme :  $UI\cos\varphi$  est indépendant du temps c'est la valeur moyenne de  $p(t)$ .

Le second terme :  $UI\cos(2\omega t - \varphi)$  est un terme sinusoïdal de pulsation  $2\omega$ .



### III. Puissance active P

#### A. Définition

On appelle *puissance active* et on note  $P$  la *valeur moyenne* de la puissance instantanée.

$$P = UI \cos \varphi$$

- $P$  : puissance active reçue ( $W$ )
- $U$  : valeur efficace de la tension ( $V$ )
- $I$  : valeur efficace de l'intensité du courant ( $A$ )

Remarque : ***En moyenne***, un dipôle passif ne peut être que récepteur même si il peut être générateur à certains instants.

#### B. Puissance active de dipôles élémentaires

##### 1. Conducteur ohmique de résistance $R$

$u$  et  $i$  sont en phase donc  $\varphi = 0$  d'où  $\cos(\varphi) = 1$  d'où  $P = UI$ .

L'impédance  $Z_R$  d'un conducteur ohmique de résistance  $R$  est  $R$  :  $Z_R = R$ , donc :

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

##### 2. Bobine idéale d'inductance $L$

$\varphi = \frac{\pi}{2}$  donc  $\cos(\varphi) = 0$  d'où  $P = 0$ .

Un dipôle purement inductif ne reçoit pas de puissance active.

##### 3. Condensateur idéal de capacité $C$

$\varphi = -\frac{\pi}{2}$  donc  $\cos(\varphi) = 0$  d'où  $P = 0$ .

Un dipôle purement capacitif ne reçoit pas de puissance active.

### IV. Puissance apparente S

$$S = UI$$

- $S$  : puissance apparente ( $VA$ )
- $U$  : valeur efficace de la tension ( $V$ )
- $I$  : valeur efficace de l'intensité du courant ( $A$ )

## V. Puissance réactive Q

### A. Définition

$$Q = UI \sin \varphi$$

- $Q$  : puissance réactive (*var*)
- $U$  : valeur efficace de la tension ( $V$ )
- $I$  : valeur efficace de l'intensité du courant ( $A$ )

## B. Puissance réactive de dipôles élémentaires

### 1. Conducteur ohmique de résistance $R$

$u$  et  $i$  sont en phase donc  $\varphi = 0$  d'où  $\sin(\varphi) = 0$  d'où  $Q = 0$ .  
Un dipôle purement résistif ne reçoit pas de puissance réactive.

### 2. Bobine idéale d'inductance $L$

$\varphi = \frac{\pi}{2}$  donc  $\sin(\varphi) = 1$  d'où  $Q = UI$ .  
Un dipôle purement inductif **reçoit** de la puissance réactive.  
On a  $U = ZI = L\omega I$  on en déduit alors :

$$Q = UI = L\omega I^2 = \frac{U^2}{L\omega}$$

### 3. Condensateur idéal de capacité $C$

$\varphi = -\frac{\pi}{2}$  donc  $\sin(\varphi) = -1$  d'où  $Q = -UI$ .  
Un dipôle purement capacitif **fournit** de la puissance réactive.  
On a  $U = ZI = \frac{I}{C\omega}$  on en déduit alors :

$$Q = -UI = -\frac{I^2}{C\omega} = -C\omega U^2$$

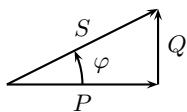
## VI. Relations entre P, Q, S et $\varphi$

On rappelle les définitions suivantes :

- $S = UI$  (puissance apparente)
- $P = UI \cos \varphi = Scos\varphi$  (puissance active)
- $Q = UI \sin \varphi = S \sin \varphi$  (puissance réactive)

### A. Relation entre Q, P et S

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



### B. Relation entre Q, P et $\varphi$

$$Q = Ptan\varphi$$

## VII. Théorème de Boucherot

### A. Énoncé

La puissance active absorbée par un groupement de dipôles est égale à la somme des puissances actives absorbées par chaque dipôle du groupement.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots = UI \cos \varphi = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 + \dots$$

La puissance réactive absorbée par un groupement de dipôles est égale à la somme des puissances réactives absorbées par chaque dipôle du groupement.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = UI \sin \varphi = U_1 I_1 \sin \varphi_1 + U_2 I_2 \sin \varphi_2 + U_3 I_3 \sin \varphi_3 + \dots$$

## B. Remarque

La puissance apparente absorbée par un groupement de dipôles n'est pas égale à la somme des puissances apparentes absorbées par chaque dipôle du groupement.

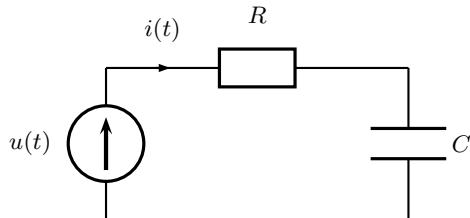
$$S \neq S_1 + S_2 + S_3 + \dots$$

Si on veut calculer  $S$  on utilise le théorème de Boucherot et la relation entre  $P, Q$  et  $S$  :

$$S = \sqrt{(P_1 + P_2 + P_3 + \dots)^2 + (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots)^2}$$

## Exercice d'application

Soit l'association en série d'une résistance et d'un condensateur.



On donne  $R = 150 \Omega$ ;  $C = 22\mu F$ ;  $U = 230 V$  et  $f = 50 Hz$

1. Calculer l'impédance complexe du dipôle  $R, C$  série.
2. Déduire la norme de l'impédance complexe ainsi que son argument.
3. Calculer la valeur efficace  $I$  du courant dans le circuit.
4. Calculer la puissance active reçue  $P$  par cette association sous une tension  $u(t) = U\sqrt{2}\cos\omega t$ .
5. Calculer la puissance apparente  $S_{RC}$  reçue par l'ensemble résistance, condensateur.
6. Calculer la puissance apparente  $S_R$  reçue par la résistance.
7. Calculer la puissance apparente  $S_C$  reçue par le condensateur.
8. Comparez  $S_C + S_R$  à  $S_{RC}$ .
9. Calculer la puissance réactive reçue  $Q$  par ce circuit (en fait il en fournit).
10. En utilisant  $P$  et  $Q$ , retrouver  $I$  et  $\cos\varphi$ .

## VIII. Facteur de puissance

### A. Définition

Le facteur de puissance noté  $f_p$  ou  $k$  est, par définition égale à :

$$f_p = \frac{P}{S}$$

Comme la puissance active  $P = UI\cos\varphi$  et la puissance apparente  $S = UI$  on en déduit :

$$f_p = \cos\varphi$$

### B. Importance du facteur de puissance

Soit une installation électrique absorbant une puissance  $P$ , sous une tension  $U$  avec un déphasage de  $i$  par rapport à  $u$  égal à  $\varphi$ .

Le courant absorbé par l'installation vaut  $I = \frac{P}{U\cos\varphi}$ .

Afin de minimiser les pertes par effet Joules dans la ligne il faut minimiser  $I$  et donc augmenter  $\cos\varphi$  au maximum c'est à dire 1. EDF impose dans ses contrats (conditions légales) que le facteur de puissance soit supérieur à 0,93.

### C. Mesurer le $\cos\varphi$

#### Méthode 1

On mesure le déphasage  $\varphi$  de  $i$  par rapport à  $u$  comme indiqué dans le cours sur le régime sinusoïdal ou à la aide d'un appareil dédié : le phasemètre.

On calcule  $f_p = \cos\varphi$ .

## Méthode 2

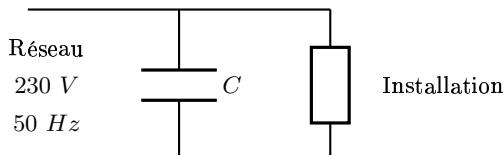
- On mesure la valeur efficace  $U$  de la tension  $u(t)$ .
- On mesure la valeur efficace  $I$  de l'intensité du courant  $i(t)$ .
- On calcule alors la puissance apparente  $S$ .
- On mesure la puissance active  $P$ .
- On calcule  $f_p = \frac{P}{S}$ .

## D. Augmenter (relever) le $\cos\varphi$ d'une installation électrique

En général une installation électrique est plutôt de type inductif (présence de moteurs, fils non parfaits ayant une certaine inductance, etc...). Pour relever son  $\cos\varphi$  on place donc en dérivation par rapport à l'installation initiale un condensateur de capacité  $C$ .

On veut faire passer l'installation du facteur de puissance  $\cos\varphi_1 = 0,7$  à  $\cos\varphi_2 = 0,93$ .

L'installation est reliée au réseau  $U = 230 V$   $f = 50 Hz$  et absorbe une puissance active  $P_1 = 15 kW$ .



1. Calculez  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ .
2. Après ajout du condensateur de capacité  $C$ , calculez la puissance active absorbée  $P_2$  par l'installation.
3. Déterminez l'expression de la puissance réactive  $Q_C$  reçue par le condensateur (en fait il en fournit).
4. Après ajout du condensateur de capacité  $C$ , déterminez l'expression de la puissance réactive absorbée  $Q_2$  par l'installation.
5. Déduisez de la relation précédente la capacité  $C$  à placer sur l'installation

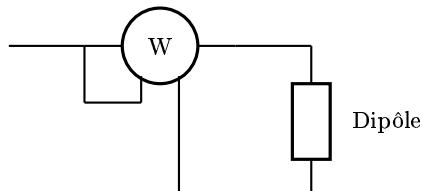
## E. Mesure de puissance

Pour mesurer la puissance active reçue par un dipôle, on utilise un **wattmètre**.

Un wattmètre est composé de deux circuits :

- le circuit « tension »
- le circuit « intensité »

Afin d'éviter d'ouvrir le circuit de l'installation on utilise des pinces wattmétriques.





# TP : Mesures de puissance et de facteur de puissance en monophasé

## Objectifs

- Mesurer une puissance active  $P$  en monophasé
- Mesurer une puissance réactive  $Q$  en monophasé
- Mesurer une puissance apparente  $S$  en monophasé
- Mesurer un facteur de puissance  $\cos\varphi$

## Rappels

On rappelle les définitions suivantes :

- $S = UI$  (puissance apparente)
- $P = UI\cos\varphi = Scos\varphi$  (puissance active)
- $Q = UI\sin\varphi = S\sin\varphi$  (puissance réactive)

## I. Questions

1. Rappelez le nom de l'appareil permettant de mesurer une puissance active.
2. Indiquez en quelques mots son fonctionnement.
3. Quels appareils utilisez-vous pour mesurer une puissance apparente ?
4. A partir de la mesure de la puissance active  $P$  et de la puissance apparente  $S$ , comment calculez-vous le facteur de puissance noté  $k$ ,  $f_p$  ou  $\cos\varphi$ .
5. A partir de la mesure de la puissance active  $P$  et de la puissance apparente  $S$ , comment calculez-vous la puissance réactive ? Comment connaître son signe ?

## II. Montage

On branche en sortie d'un transformateur monophasé abaisseur de tension une charge ( $R$ ,  $RL$  ou  $RLC$ ).

On alimente le transformateur monophasé abaisseur de tension sur le réseau (haute tension) .....

En sortie, la tension efficace à ses bornes (basse tension) est de .....

Faites le schéma de montage en plaçant les appareils de mesure, leurs bornes et leur mode.

## III. Charge résistive R

On utilise comme charge résistive un rhéostat .....

On ne devra à aucun moment dépasser  $I =$  .....

Placez le curseur du rhéostat au centre.

**Expliquez pourquoi on prend cette précaution.**

*On ne changera jamais la valeur de cette résistance dans toute cette séance.*

Faites varier la tension d'alimentation et relevez  $U$ ,  $I$ ,  $P$ ,  $k$  et  $\varphi$ .

$U$ (V)	$I$ (A)	$P$ (W)	$k$	$\varphi$ ( $^{\circ}$ )

Quelle conclusion pouvez-vous déduire de vos mesures concernant l'expression de  $P$  et de  $k$  ?

## IV. Charge inductive RL

On utilise désormais une charge résistive ..... associée en série avec une bobine .....

**Avant de changer de charge, éteignez l'alimentation et attendez mes recommandations.**

Sortez complètement le noyau de la bobine.

- Réglez  $I = \dots$

- Mesurez  $U, I, P$  et déduisez  $k$  et  $\varphi$ .

Avec le noyau toujours complètement sorti,

- Réglez  $I = \dots$

- Mesurez  $U, I, P$  et déduisez  $k$  et  $\varphi$ .

Placez maintenant le noyau à .....

- Réglez  $I = \dots$

- Mesurez  $U, I, P$  et déduisez  $k$  et  $\varphi$ .

Toujours avec cette position de noyau.

- Réglez  $I = \dots$

- Mesurez  $U, I, P$  et déduisez  $k$  et  $\varphi$ .

Choisissez 2 valeurs différentes de  $I$  pour chaque position du noyau.

noyau de fer	$U$ (V)	$I$ (A)	$P$ (W)	$k$	$\varphi$ ( $^{\circ}$ )

1. De quoi, selon vous, dépend le facteur de puissance du circuit ?
2. D'après les mesures que vous avez effectuées, comment interprétez-vous l'influence du noyau de fer sur le circuit ? Vous pouvez argumenter votre réflexion avec un diagramme de Fresnel.
3. Pourquoi la puissance active est-elle, pour un même courant, légèrement supérieure au cas de la charge résistive ?

## V. Charge RLC série

On utilise désormais une charge résistive ..... associée en série avec une bobine ..... et une boîte de condensateurs .....

**Avant de changer de charge, éteignez l'alimentation et attendez mes recommandations.**

Le noyau de la bobine est enfoncé pour avoir  $L \simeq \dots$

On utilise le rhéostat pour faire varier  $I$ .

$C$ ( $\mu F$ )	$U$ (V)	$I$ (A)	$P$ (W)	$k$	$\varphi$ ( $^{\circ}$ )

1. Le facteur de puissance dépend-il de l'intensité efficace ?
2. Que faudrait-il faire pour connaître le signe du déphasage ??

# Mathématiques Supérieures

## PCSI



# Optique géométrique



# TP : Lunette - Collimateur

## I. Lunette - lunette autocollimatrice

### A. But

- repérer la direction d'un objet à l'infini

### B. Constitution

- Partie antérieure (du côté de l'objet) : l'objectif
- Partie postérieure (près de l'oeil) : l'oculaire

L'objectif permet d'obtenir une image de l'objet à l'infini.

Cette image sert d'objet pour l'oculaire que l'on utilise comme une loupe.

L'oculaire donne une image finale à l'infini.

Or, une image à l'infini est observée sans fatigue par l'oeil.

Un tel système (objectif + oculaire) constitue un système afocal.

### C. Schéma

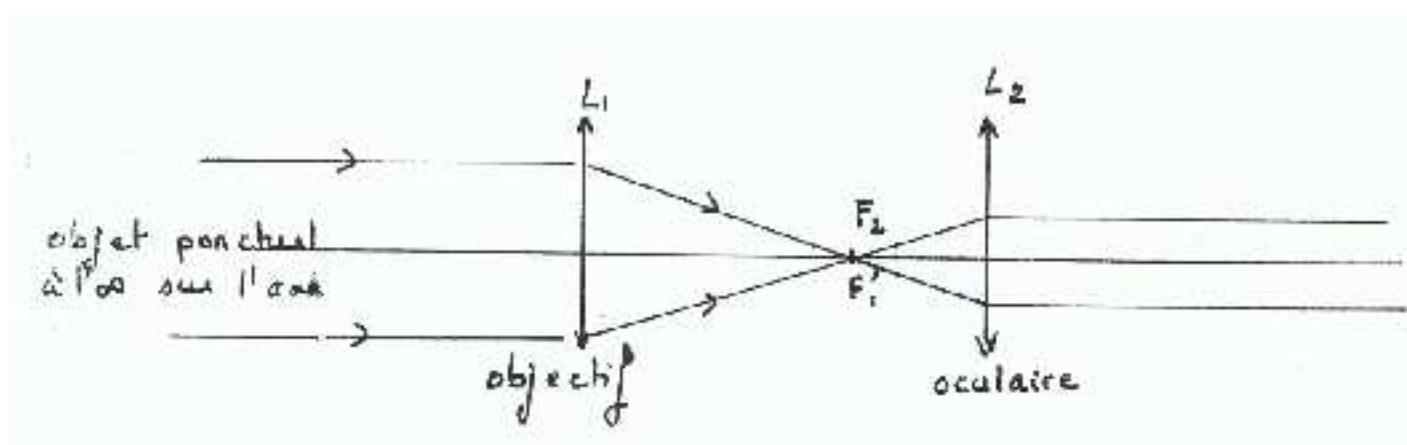


FIG. 1 – Schéma de principe d'une lunette



FIG. 2 – Réticule

Entre l'objectif et l'oculaire, est placé un réticule c'est à dire un objet constitué par 2 fils croisés.

Ce réticule est fixe par rapport à la lunette.

On règle la lunette :

- en déplaçant l'objectif de façon à ce que le réticule soit dans son plan focal image,
- en déplaçant l'oculaire de façon à ce que le réticule soit dans son plan focal objet.

**Intérêt :** L'objectif donne d'un objet à l'infini une image dans son plan focal image où se trouve également le réticule ; l'oculaire permet d'observer cette image et le réticule ; le positionnement de l'un par rapport à l'autre permet de repérer la direction d'un objet à l'infini.

Associée à un cercle gradué, la lunette permet de mesurer l'angle entre les directions de deux objets à l'infini : il suffit de pointer avec le réticule leur image à travers l'objectif, de noter les deux positions de la lunette et de faire la différence.

## D. Réglage de la lunette

### 1. Réglage de l'oculaire

Réglez l'oculaire pour avoir une vue nette du réticule sans fatigue.

### 2. Réglage du tirage de la lunette (réglage de la distance objectif-réticule)

- *1<sup>e</sup> cas : lunette simple*

Pointez un objet éloigné.

Réglez le tirage pour avoir simultanément le réticule et l'image nette de cet objet.

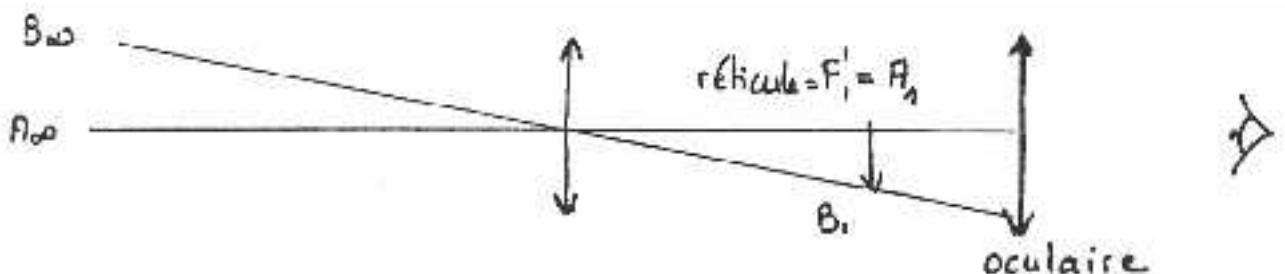


FIG. 3 – Schéma de principe d'une lunette simple

- *2<sup>e</sup> cas : lunette autocollimatrice*

- *Principe :*

Il existe une lame semi-réfléchissante : elle permet d'éclairer si nécessaire, le réticule à l'aide d'une source de lumière auxiliaire, sans empêcher le passage de la lumière directe.

Le tirage se règle par autocollimation ; on utilise la réflexion de la lumière par un miroir plan (ou un dioptrre plan) placé devant l'objectif.

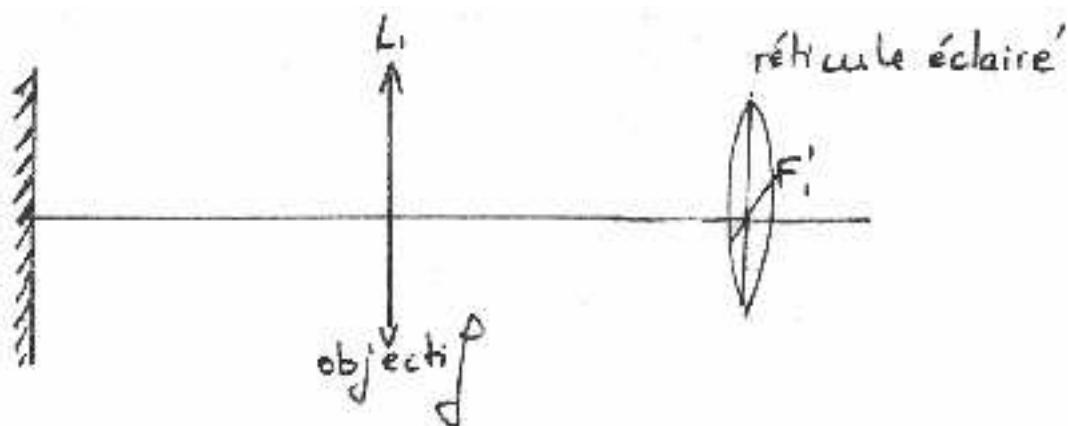


FIG. 4 – Schéma de principe d'une lunette autocollimatrice

Lorsque le réticule est dans le même plan que son image par le système (objectif-miroir plan), cela signifie qu'il se trouve dans le plan focal de l'objectif.

- *Manipulation :*

- Éclairez le réticule (branchez ou agir sur l'interrupteur commandant la petite lampe auxiliaire)
- Placez un miroir plan (ou une surface plane réfléchissante) sur la plate-forme et interceptez la lumière réfléchie avec la lunette.
- Réglez le tirage de la lunette pour avoir une vue nette et simultanée du réticule et de son image réfléchie.
- Lorsque le réglage est correct, le réticule et son image sont dans un même plan dont sont fixes l'un rapport à l'autre lorsqu'on déplace transversalement l'œil.

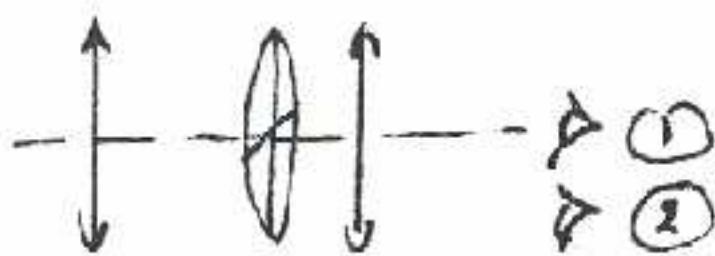


FIG. 5 – Déplacement de l'oeil pour vérifier le réglage du tirage de la lunette

<i>Position 1</i>	<i>Position 2</i>	
		<i>Réglage correct</i>
		<i>Réglage incorrect</i>

- Éteignez la lampe auxiliaire éclairant le réticule pour la suite des manipulations

### 3. Réglage précis de l'oculaire

Ajustez le réglage de l'oculaire de façon à l'adapter à la vue de l'utilisateur mais **ON NE DOIT PLUS TOUCHER AU TIRAGE.**

## II. Le collimateur

### A. But

- obtenir un objet à l'infini

### B. Constitution

Le collimateur est constitué par :

- un objet (une fente, une mire)
- un système convergent



FIG. 6 – Schéma de principe d'un collimateur

Régler le collimateur signifie placer l'objet dans le plan focal objet du système convergent.

### C. Réglage du collimateur

- Éclairez l'objet
- Intercevez la lumière émergente avec une lunette préalablement réglée
- Réglez le tirage du collimateur jusqu'à obtenir à travers la lunette une vue nette et simultanée du réticule et de l'image de l'objet.

### Bilan

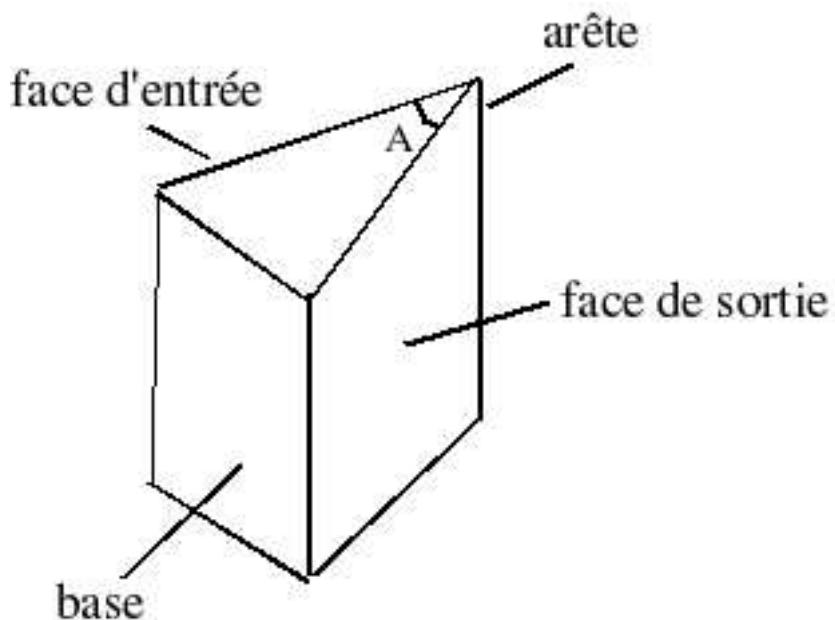
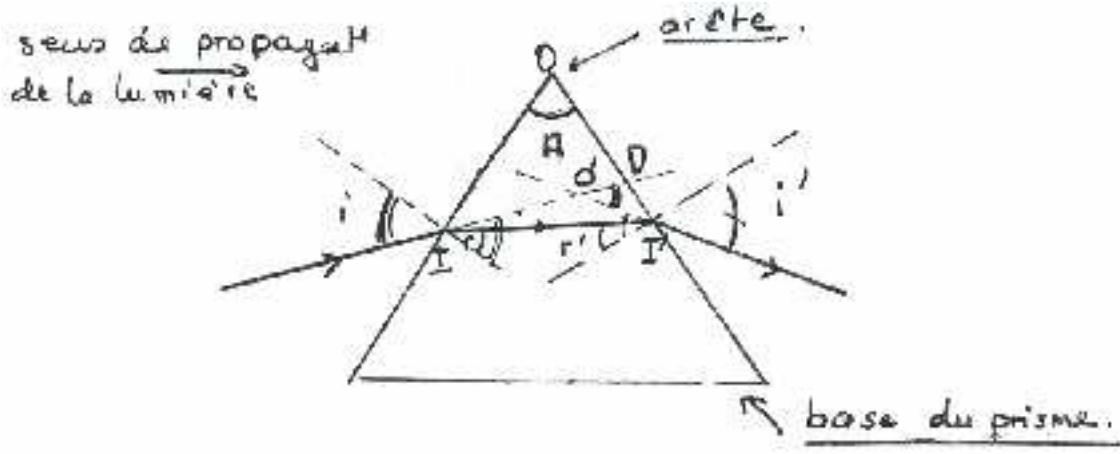
On a alors :

$$\begin{array}{ccc} A & \longrightarrow & A_{0\infty} \\ \text{collimateur} & & \end{array} \quad \begin{array}{ccc} \longrightarrow & & A' \text{ dans le plan du} \\ & & \text{réticule} \\ \text{lunette} & & \end{array}$$

# Étude d'un prisme

## I. Étude générale

### A. Dispositif et notations



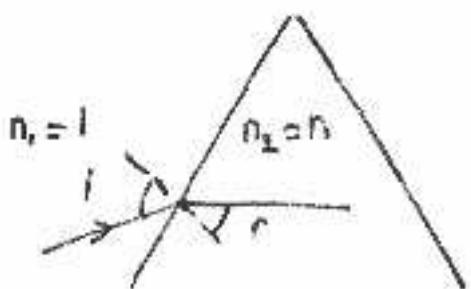
- $A$  : angle du prisme
- La déviation se fait toujours vers la base du prisme.
- $D$  dépend de  $n$  donc de  $\lambda$ .
- $D$  dépend de  $i$ .

### B. Relations entre les angles

- Lois de Descartes
  - $\sin i = n \sin r$
  - $\sin i' = n \sin r'$
- Triangle  $IO'I'$ 
  - $(i' - r') + (i - r) + (\pi - D) = \pi$
  - $i' + i - r - r' = D$
- Triangle  $IOI'$ 
  - $A + (\pi/2 - r) + (\pi/2 - r') = \pi$
  - $A = r + r'$
  - $D = i + i' - A$

## C. Condition d'émergence d'un rayon

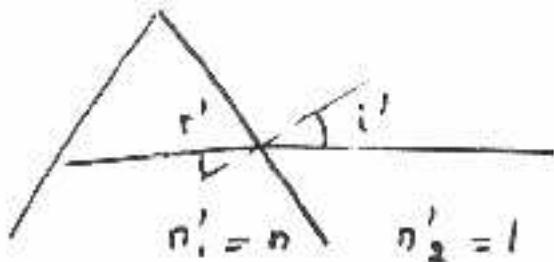
### 1. À l'entrée



$$n_2 > n_1$$

Il existe un rayon réfracté quel que soit  $i$ .

### 2. À la sortie



$$n'_1 > n'_2 ; i' > r'$$

Il peut y avoir réflexion totale sur la face de sortie.

$$\text{Il existe un rayon réfracté pour : } \frac{n \sin r'}{1} < 1$$

$$\sin r' < \frac{1}{n}$$

$$\text{soit } r' < \theta \text{ tel que } \sin \theta = \frac{1}{n}$$

Il faut donc  $A - r < \theta$

$$r > A - \theta$$

$$\sin(i) > n \sin(A - \theta) = \frac{\sin(A - \theta)}{\sin(\theta)}$$

$$\text{1er cas : } \frac{\sin(A - \theta)}{\sin(\theta)} > 1$$

Soit si  $A - \theta > \theta$  soit encore  $A > 2\theta$

Il n'y a pas de rayon émergent ( $n = 1,5$  d'où  $2\theta = 84^\circ$ )

$$\text{2e cas : } \frac{\sin(A - \theta)}{\sin(\theta)} < 1$$

Il existe un rayon émergent pour  $i > i_0$  tel que  $\sin i_0 = \frac{\sin(A - \theta)}{\sin \theta}$

**Application numérique :**  $A \approx 60^\circ ; n \approx 1,5 \implies i_0 \approx 25^\circ$

En pratique pour obtenir un rayon émergent,

- Choisissez l'arête
- Tournez le prisme de façon à éclairer une face en incidence quasi rasante et vers l'arête.
- Cherchez les rayons émergents dévié vers la base.

## II. Pouvoir dispersif d'un prisme

Pour un angle d'incidence  $i$  donné,  $D$  dépend de  $n$  or  $n$  dépend de  $\lambda$  donc  $D$  dépend de  $\lambda$ .

Si  $n$  augmente  $r$  diminue ( $\sin i = n \sin r$ )  
d'où  $r'$  augmente ( $A = r + r'$ )  
d'où  $i'$  augmente ( $\sin i' = n \sin r'$ )

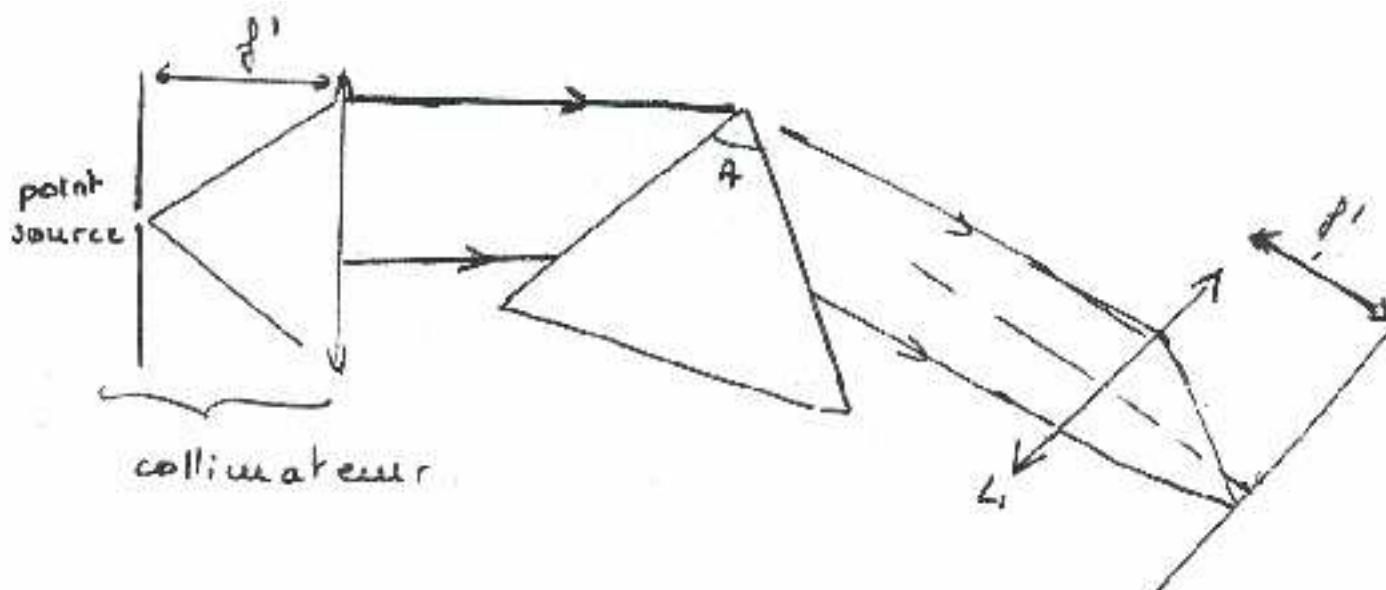
$D$  augmente avec  $n$

Or  $n$  diminue quand  $\lambda$  augmente (Loi de Cauchy  $n = A + \frac{B}{\lambda^2}$ )

D'où  $D$  augmente quand  $\lambda$  décroît.

La déviation croît du rouge au violet dans le domaine visible.

### Manipulation



Le collimateur produit un faisceau de rayons parallèles.

Chaque  $\lambda$  est déviée.

$L_1$  fait converger chaque faisceau parallèle dans son plan focal où l'on a placé l'écran.

On obtient plusieurs images « spectre » de la source.

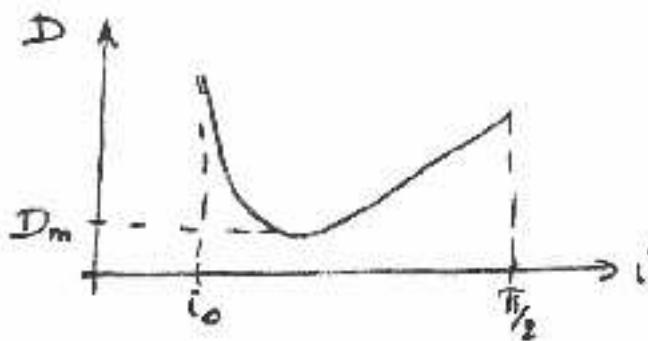
En pratique, on utilise une fente source colinéaire à l'arête du prisme. On observe des raies sur l'écran ou dans le plan focal de l'objectif de la lunette.

### III. Étude de $D = f(i)$

Ici  $n$  est supposé constant : on considère les rayons de longueur d'onde  $\lambda$  donnée.

#### A. Données expérimentales

Lorsque  $i$  varie,  $D$  passe par un minimum  $D_m$ .



Pour  $D$  fixé,

- incidence  $i \Rightarrow$  émergence  $i'$
- incidence  $i' \Rightarrow$  émergence  $i$  (principe du retour inverse de la lumière)

$$D = i + i' - A$$

Les deux incidences  $i$  et  $i'$  donnent la même déviation.

Or  $D_m$  est obtenue pour une seule incidence donc dans ce cas  $D = 2i - A$

$$i = i' \Rightarrow r = r' \Rightarrow A = 2r \Rightarrow n = \frac{\sin \frac{D_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

#### B. Relation entre $n$ , $A$ et $D_m$

Par différentiation des formules du prime

$$0 = dr + dr'$$

$$dD = di + di' \quad \frac{dD}{di} = 1 + \frac{di'}{di}$$

$$\cos(i)di = \cos(r)dr$$

$$\cos(i')di' = \cos(r')dr' \quad \frac{di'}{di} = \frac{\cos(i)}{\cos(i')} \frac{\cos(r')}{\cos(r)} \frac{dr}{dr'}$$

$$\frac{dD}{di} = 1 - \frac{\cos(i)}{\cos(i')} \frac{\cos(r')}{\cos(r)}$$

On cherche le minimum :

$$\left( \frac{dD}{di} \right)_{i=i_{\min}} = 0$$

$i = i'$  et  $r = r'$  conviennent.

$$A = 2r \Rightarrow r = \frac{A}{2}$$

$$D_m = 2i - A \Rightarrow i = \frac{D_m + A}{2}$$

$\sin i = n \sin r$

$$n = \frac{\sin \frac{D_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

**Application :** mesure de  $n$  pour une longueur d'onde donnée.

**Remarque :** il faut d'abord déterminer l'angle  $A$  du prisme.

# TP : Mesure d'un angle d'un prisme

On éclaire le prisme par un faisceau de rayons parallèles.

On pointe la direction des faisceaux réfléchis par chaque face du prisme.

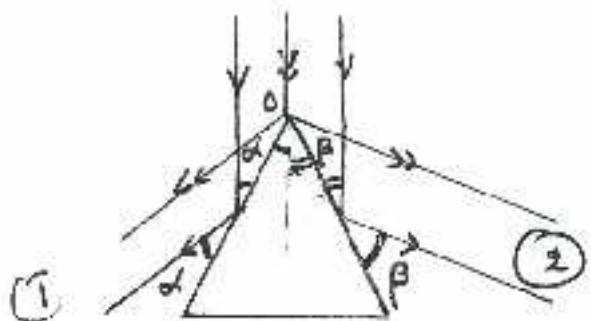
- direction du faisceau (1) par rapport à la direction incidente :  $2\alpha$
- direction du faisceau (2) par rapport à la direction incidente :  $2\beta$

$$A = \alpha + \beta$$

L'angle entre les directions des faisceaux (1) et (2) est noté  $B$ .

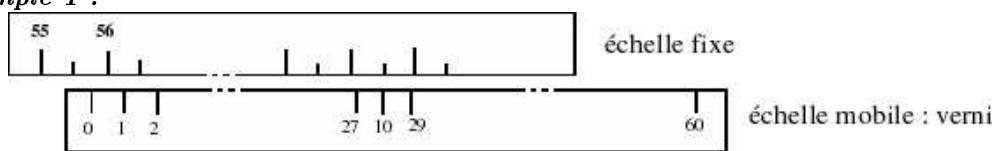
On a  $B = \alpha + A + \beta$  soit  $B = 2A$

$$A = \frac{B}{2}$$

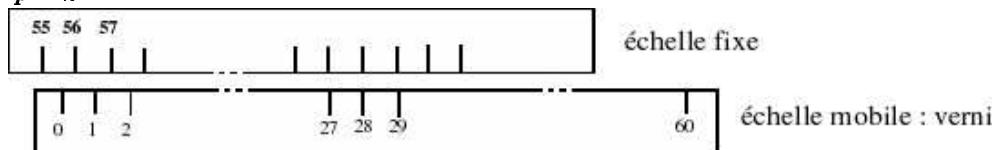


- Placez l'arête du prisme face au collimateur.
  - Pointez avec la lunette la direction d'un des faisceaux réfléchis.
- Fixez la lunette lorsque l'image de la fente est dans le champ de vision puis amenez ensuite le réticule exactement sur l'image de la fente en agissant sur la vis de déplacement fin de la lunette.
- Remarque :** utilisez peu ouverte pour faire les mesures.
- Lisez sur l'échelle circulaire fixe la valeur en degré (ou en demi-degré pour les échelles graduées en demi-degré) immédiatement inférieure.
  - Lisez par coïncidence sur le vernier lié à la lunette et gradué de 0 à 60 (ou de 0 à 30 si l'échelle précédente est graduée en demi degré) le nombre de minutes supplémentaires pour arriver à  $\theta$

- **Exemple 1 :**



- **Exemple 2 :**



- La précision de la mesure est la minute d'arc. On rappelle  $1' = 1/60^\circ$  « 1 minute » alors que  $1'' = 1/3600^\circ$  « 1 seconde ».
- Pointez avec la lunette la direction du second faisceau réfléchi et faites la même mesure que précédemment. Déduisez des deux mesures d'angle, la valeur de l'angle du prisme.



Vous devez vous souvenir de l'arête dont vous avez mesuré l'angle.

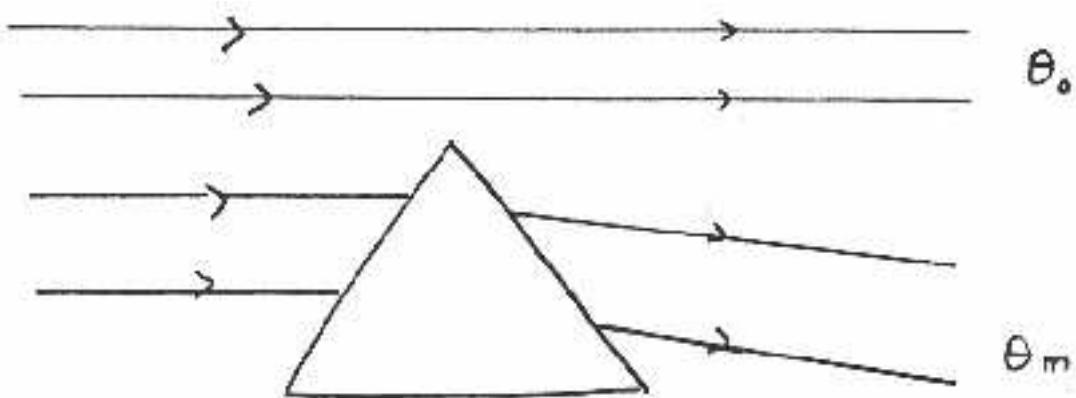


# TP : Mesure de l'indice d'un prisme

## I. Visualisation du spectre de la lampe à vapeur de mercure

- Placez le prisme sur la plate-forme de façon à ce que : son arête soit proche de centre la lumière incidente soit quasiment rasante ( $i$  grand)
- Recherchez et observez à la lunette le spectre obtenu (se rappeler pour cela dans quelle sens a lieu la déviation de la lumière)
- Observez quelles sont les radiations les plus déviées
- Choisissez une longueur d'onde. Observer l'existence d'un minimum de déviation.  
Rappel : il s'agit d'une déviation minimum en fonction de l'angle d'incidence. Il faut donc ici modifier l'angle d'incidence en faisant tourner la plate-forme ; suivre le spectre à la lunette :  $D$  diminue puis réaugmente.

## II. Mesure de l'angle de déviation minimal



- Pointez la direction incidente (mesure  $\theta_0$ ).
- Pointez pour la raie jaune-vert intense du mercure le faisceau dévié au minimum de déviation (mesure  $\theta_m$ ).
- Déduisez  $D_m = \theta_m - \theta_0$ .

Pour effectuer le pointé,

- Faites le d'abord approximativement.
- Fixez la plate-forme et la lunette.
- Agissez sur la vis fine d'orientation de la plate-forme pour se placer au minimum de déviation.
- Agissez sur la vis fine de déplacement fin de la lunette pour pointer la raie.
- La longueur d'onde de la raie jaune-vert du mercure est de  $0,5460 \mu\text{m}$ .

## III. Conclusion

Déduisez l'indice du prisme pour cette longueur d'onde.



# TP : Goniomètre

## Dispersion d'un prisme

### Détermination d'une longueur d'onde inconnue

#### I. Réglage de la lunette et du collimateur

**Remarque :** Pour le réglage du collimateur, vous devez observer les *bords* de la fente source pour faire le réglage.

#### II. Mesure de l'angle du prisme

**Remarques :**

- Travaillez avec une fente fine
  - Utilisez la vis de réglage fin pour la position de la lunette
- Estimez l'incertitude  $\Delta A$  sur la détermination de l'angle  $A$  du prisme.

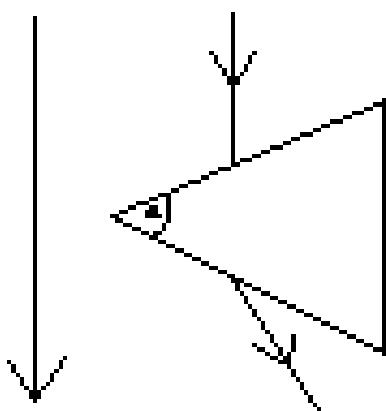
#### III. Mesure de l'angle de déviation minimale pour une longueur d'onde donnée

La source est une lampe à vapeur de mercure.

Les longueurs d'onde des différentes raies vous sont données en annexe.

Vous ferez la mesure de  $D_m$ , angle de déviation minimale, pour les radiations les plus intenses et sur le domaine de longueur d'onde le plus large possible.

##### A. 1<sup>re</sup> méthode

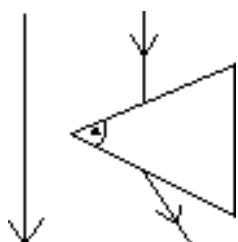


- Pointez la direction incidente
- Pointez le faisceau dévié au minimum de déviation pour chaque longueur d'onde.

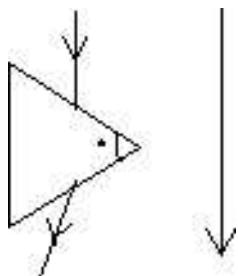
**Remarque :**

- si elle existe, utilisez la vis de réglage fin de la position de la plate-forme pour se placer au minimum de déviation
  - si elle existe, utilisez la vis de réglage fin de la position de la lunette pour repérer le minimum de déviation.
- Estimez l'incertitude  $\Delta D_m$  sur  $D_m$ .

##### B. 2<sup>e</sup> méthode



- Pointez le faisceau dévié au minimum de déviation pour chaque longueur d'onde.
- On pourra utiliser les valeurs obtenues pour la méthode 1.



- Retournez le prisme.
- Pointez le faisceau dévié au minimum de déviation pour chaque longueur d'onde.

- Déduisez des deux séries de mesure  $D_m$  pour chaque longueur d'onde.
- Estimez l'incertitude  $\Delta D_m$  sur  $D_m$  par cette méthode.
- Comparez la précision des deux méthodes.

## IV. Utilisation des mesures

### A. Étude de $n(\lambda)$

- Rappelez la relation existant entre  $n$ ,  $A$  et  $D_m$  à une longueur d'onde donnée.
- Exprimez  $\Delta n$  en fonction de  $\Delta D_m$  et  $\Delta A$ .  
Lorsque la méthode de mesure le permet on a  $\Delta D_m \approx \Delta A$ .
- Simplifiez alors l'expression de  $\Delta n$ .

- Dressez le tableau :

$\lambda$	$n(\lambda) + \Delta n$

- Vérifiez graphiquement :  $n = A + \frac{B}{\lambda^2}$

### B. Mesure d'une longueur d'onde inconnue

#### 1. Courbe d'étalonnage du prisme

Tracez sur papier millimétré  $D_m = f(\lambda)$  pour les radiations de la lampe à vapeur de mercure.

#### 2. Mesure d'une longueur d'onde inconnue émise par le sodium

- Remplacez la lampe à vapeur de mercure par la lampe à vapeur de sodium.
- Mesurez  $D_m$  pour le doublet jaune du sodium.
- En déduire grâce à la courbe d'étalonnage du prisme la longueur d'onde correspondante.

## ANNEXE : Longueur d'onde des principales raies du mercure

Radiation	Longueur d'onde (mm)
Violet fort	0,4046
Violet faible	0,4077
Bleu faible	0,4339
Bleu faible	0,4347
Bleu intense	0,4358
Vert foncé	0,4916
Vert-jaune intense	0,5460
Doublet jaune	0,5790
Rouge (1)	0,6260
Rouge (2)	0,7346

## **Annexes**



## **Documents divers**



**Année Scolaire :** .....  
**Classe :** .....

**Nom :** .....  
**Prénom :** .....

**Date de naissance :** .....  
**Ville de naissance :** .....  
**Pays de naissance :** .....

**Nom et adresse du responsable légal :** .....  
.....  
.....  
.....

**Numéro tél. du responsable légal :** .....

**Profession du père :** .....  
**Profession de la mère :** .....

**Nombre de frères et sœurs :** .....

**Ancien professeur de :**  
**Sciences et vie de la Terre :** .....  
**Sciences Physiques :** .....

**Problèmes de santé :** .....

**Profession(s) envisagée(s) :** .....

**Activités, loisirs :** .....

.....  
.....  
.....  
.....

**Année Scolaire :** .....  
**Classe :** .....

**Nom :** .....  
**Prénom :** .....

**Date de naissance :** .....  
**Ville de naissance :** .....  
**Pays de naissance :** .....

**Nom et adresse du responsable légal :** .....  
.....  
.....  
.....

**Numéro tél. du responsable légal :** .....

**Profession du père :** .....  
**Profession de la mère :** .....

**Nombre de frères et sœurs :** .....

**Ancien professeur de :**  
**Sciences et vie de la Terre :** .....  
**Sciences Physiques :** .....

**Problèmes de santé :** .....

**Profession(s) envisagée(s) :** .....

**Activités, loisirs :** .....

.....  
.....  
.....  
.....

# Quelques conseils pour bien travailler

## I. Emploi du temps

Les cours de Sciences Physiques ont lieu le :

.....  
.....  
.....

## II. Matériel

Il est nécessaire d'apporter à chaque cours :

1. 4 stylos (bleu, rouge, noir, vert)
2. 1 crayon à papier et 1 gomme
3. 1 règle, 1 compas, 1 équerre, 1 rapporteur
4. 1 paire de ciseaux, de la colle, ...
5. des feuilles simples et doubles prêtes à être utilisées lors des contrôles
6. son cahier de Sciences Physiques
7. le livre de Sciences Physiques

## III. Comportement

1. Arriver à l'heure.
2. Se ranger dans le couloir.
3. Respecter les règles de politesse.
4. Entrer en silence et s'asseoir uniquement lorsque le professeur le demande.
5. Ne pas mâcher de chewing-gums ou manger ou boire quoi que ce soit en classe
6. Éteindre son portable.
7. Prendre soin du matériel (tables, chaises, et matériel de Sciences Physiques)
8. Écouter et ne prendre la parole que lorsque le professeur la donne, participer en posant des questions utiles.  
Oser le dire lorsqu'on n'a pas compris ou quand on n'est pas sûr d'avoir bien compris.
9. Lors de certaines séances vous travaillez en groupe ; travailler dans ces conditions signifie exécuter ce qui est demandé, échanger des idées au sein de son groupe de travail, mais certainement pas bavarder, s'amuser.
10. Être attentif aux consignes données.
11. Se lever lorsqu'une personne extérieure à la classe entre et se relever lorsqu'elle ressort.

## IV. Travail

### A. En classe

- Noter au stylo le cours sur le cahier (qui doit être bien tenu)
- Noter en rouge les notions importantes

### B. À la maison

- Obligatoire et à effectuer à chaque fin de cours
  1. Apprendre ce qui est écrit dans le cahier pour le cours suivant.
  2. Faire les exercices demandés après avoir appris la leçon.
- Obligatoire et occasionnel
  1. Parfois un travail de recherche est demandé. Utiliser en premier lieu votre livre, compléter en consultant les documents disponibles au C.D.I. et ceux à votre disposition.
  2. En cas d'absence, demander un cahier et rattraper le cours.

## V. Évaluations

### A. Devoirs surveillés

À la fin d'un chapitre, des exercices variés permettant d'évaluer vos capacités et vos connaissances vous seront donnés et seront notés.

### B. Contrôle surprise

Vous pouvez être évalués par oral ou par écrit sur le contenu de la séance précédente.

### C. Autres évaluations

Vous serez également évalués sur un certain nombre de travaux pratiques, de travaux de recherches.

Signature de l'élève

Signature du responsable légal

# Rédiger un compte-rendu de Travaux Pratiques

## I. Matériel nécessaire

- copies doubles (afin de ne pas avoir de feuilles volantes)
- calculatrice
- règle
- papier millimétré
- stylo
- crayon à papier et gomme

## II. Rédaction du compte-rendu

### A. Montage

Indiquer le titre du TP puis les objectifs.

Réaliser un premier paragraphe pour expliquer ce que vous allez faire, votre démarche.

Faire un schéma du montage expérimental.

### B. Mesures

#### 1. Préliminaires

On réalise un tableau dans lequel on fait figurer les grandeurs qui seront mesurées et celles qui seront calculées.

Ne pas oublier d'indiquer les unités employées!

#### 2. Mesures

On règle le montage et on relève une première série de mesures.

On règle le système dans une seconde position et on effectue une deuxième série de mesures.

**Remarque :** se servir d'un crayon à papier pour effacer les valeurs si l'on s'est trompé.

## C. Exploitation des mesures Tracé du graphique

#### 1. Préliminaires

Préparer une feuille de papier millimétré.

Calculer les échelles à prendre pour que le graphique soit le plus grand possible.

Tracer les axes; indiquer les grandeurs, les unités (entre parenthèses) et les graduations.

#### 2. Tracé de la courbe

Chaque point de mesure est repéré par une croix +

Ensuite, si l'allure obtenue est celle d'une droite, on trace cette dernière à la règle en la faisant passer le plus près possible de tous les points.

**Attention :** avant le tracé, se poser la question suivante : « la droite passe-t-elle par  $(0; 0)$ ? »

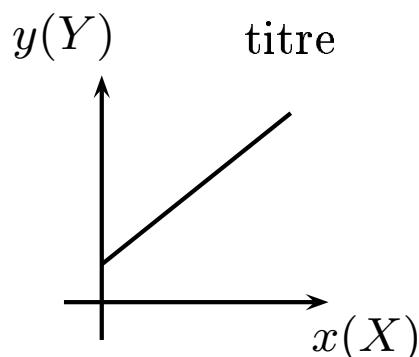
Mettre un **titre** à ce tracé.

#### 3. Équation de la droite

Le coefficient directeur  $a$  représente la pente de la droite d'équation :  $y = ax + b$

$b$  est l'ordonnée à l'origine : c'est  $y$  pour  $x = 0$ .

On peut calculer  $b$  en prolongeant la droite et en déterminant l'endroit où elle coupe l'axe des ordonnées.



Pour mesurer le coefficient directeur (ou pente de la droite), on choisit deux points **sur la droite**. Les deux points choisis ne sont pas nécessairement des points de mesure. Ces deux points ne doivent pas être trop rapprochés afin de ne pas commettre d'erreur trop importante dans le calcul du coefficient directeur  $a$ .

$$a = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

- $a$  est négatif si la droite est décroissante.
- $a$  est positif si la droite est croissante.

**Remarque :** en Mathématiques, le coefficient directeur est sans unités car il s'agit d'un rapport de deux grandeurs avec la même unité. En Physique, par contre,  $y$  et  $x$  n'ont généralement pas la même unité donc le coefficient directeur possède bien une unité ( $\frac{\text{unité de } y}{\text{unité de } x}$ ).

## D. Interprétation et conclusion

On commente les résultats obtenus et on essaye d'énoncer la loi physique mise en évidence dans le TP.

On fait une conclusion brève pour résumer l'essentiel du TP ainsi que ce qu'il faut retenir.

# Un exemple de compte-rendu d'élève

## Objectifs

- étudier la relation entre la grandeur  $y$  et la grandeur  $x$ .

## I. Protocole expérimental

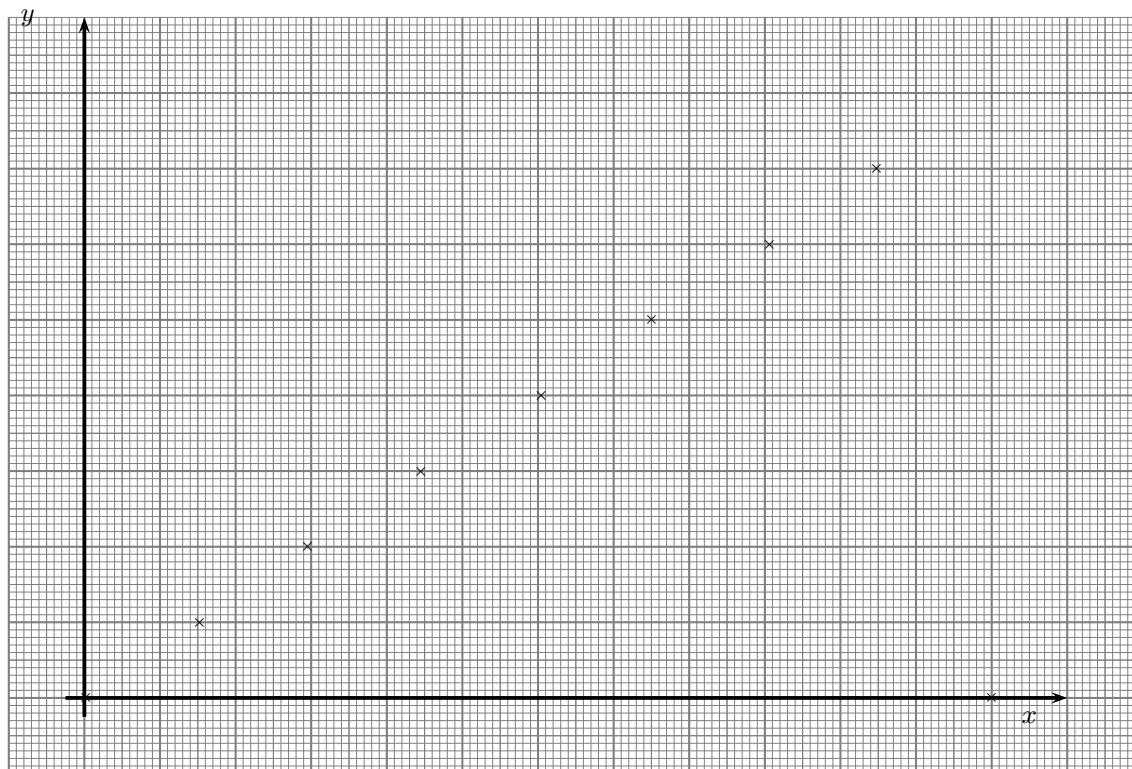
Explication de la méthode de mesure.

**Schéma**

## II. Mesures expérimentales

$y$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$x$	0,02	1,52	2,95	4,45	6,04	7,50	9,06	10,48	12,00

## III. Exploitation des mesures



Équation de la droite :

Calcul du coefficient directeur :

## IV. Interprétation

## V. Conclusion

Cet élève vient de rendre ce compte-rendu !

- Entourez en vert ce qui manque et ce qui semble curieux.
- Terminez le compte-rendu avec méthode, précision et propreté.

# Documents divers pour les Sciences Physiques

## L'alphabet Grec

Nom	Majuscule	Minuscule
alpha	$\alpha$	A
bêta	$\beta$	B
gamma	$\gamma$	$\Gamma$
delta	$\delta$	$\Delta$
epsilon	$\epsilon$	E
zêta	$\zeta$	Z
êta	$\eta$	H
thêta	$\theta$	$\Theta$
iota	$\iota$	I
kappa	$\kappa$	K
lambda	$\lambda$	$\Lambda$
mu	$\mu$	M
nu	$\nu$	N
xi	$\xi$	$\Xi$
omicron	$\circ$	O
pi	$\pi$	$\Pi$
rhô	$\rho$	P
sigma	$\sigma$	$\Sigma$
tau	$\tau$	T
upsilon	$\upsilon$	$\Upsilon$
phi	$\varphi$	$\Phi$
khi (ou chi)	$\chi$	$\chi$
psi	$\psi$	$\Psi$
omega	$\omega$	$\Omega$

## Multiples et sous-multiples

<b>Facteur multiplicatif</b>	$10^{-15}$	$10^{-12}$	$10^{-9}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	101	102	$10^3$	$10^6$	$10^9$	$10^{12}$
<b>Préfixe</b>	femto	pico	nano	micro	milli	centi	déci		déca	hecto	kilo	méga	giga	tera
<b>Symbol</b>	$f$	$p$	$n$	$\mu$	$m$	$c$	$d$		$da$	$h$	$k$	$M$	$G$	$T$

## Unités de volume, de masse et de masse volumique

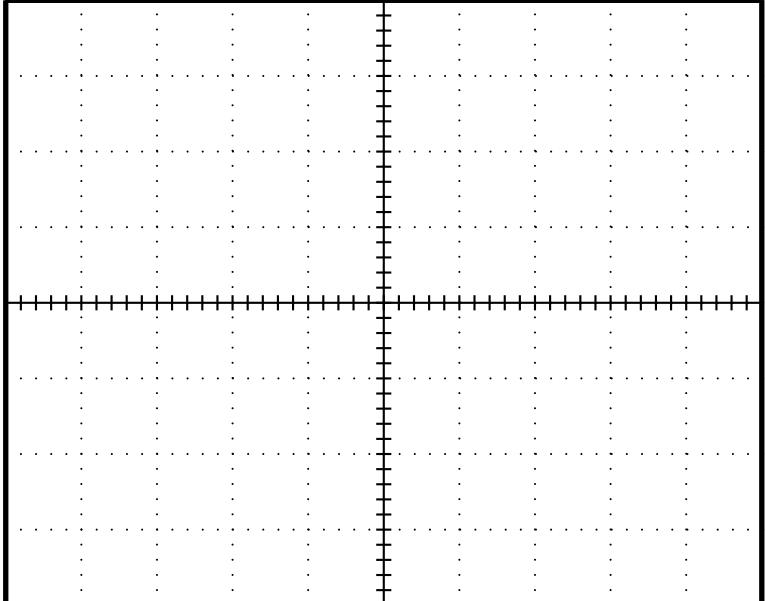
Volume	Masse	Masse volumique
$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$	$1 \text{ tonne} = 10^3 \text{ kg}$	$1 \text{ kg.m}^{-3} = 1 \text{ g.L}^{-1}$
$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL} = 10^{-6} \text{ m}^3$	$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$	$1 \text{ kg.dm}^{-3} = 1 \text{ g.cm}^{-3}$
$1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ L}$		$1 \text{ kg.dm}^{-3} = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

## Grandeurs et unités

<i>Grandeur</i>	<i>Notation littérale usuelle</i>	<i>Unité</i>	<i>Symbol de l'unité</i>
Angle	$\alpha$	radian	$rad$
Champ magnétique	$B$	tesla	$T$
Charge électrique	$q$	coulomb	$C$
Concentration molaire	$C, [X]$	mole par litre	$mol.L^{-1}$
Concentration massique (ou titre)	$t$	gramme par litre	$g.L^{-1}$
Conductance	$G$	siemens	$S$
Conductivité	$\sigma$	siemens par mètre	$S.m^{-1}$
Conductivité molaire	$\lambda, \Lambda$	siemens . mètre carré par mole	$S.m^2.mol^{-1}$
Énergie, travail	$E, W$	joule	$J$
Énergie de réaction	$E_r$	joule par mole	$J.mol^{-1}$
Force	$F$	newton	$N$
Fréquence	$f$	hertz	$Hz$
Intensité du courant électrique	$I$	ampère	$A$
Longueur	$l$	mètre	$m$
Masse	$m$	kilogramme	$kg$
Période	$T$	seconde	$s$
Pression	$p$	pascal	$Pa$
Puissance	$P$	watt	$W$
Quantité de matière	$n$	mole	$mol$
Résistance	$R$	ohm	$\Omega$
Température	$T$	kelvin	$K$
Température	$\theta$	degré Celsius	$K$
Temps (durée ou date)	$t$	seconde	$s$
Tension électrique	$U$	volt	$V$
Vitesse	$v$	mètre par seconde	$m.s^{-1}$
Volume	$V$	mètre cube	$m^3$

## Constantes fondamentales

<i>Grandeur</i>	<i>Notation</i>	<i>Valeur</i>	<i>Unité</i>
Constante de la gravitation	$G$	$6,672\ 59.10^{-11}$	$N.kg^{-2}.m^2$
Constante de la force de Coulomb	$k$	$8,987\ 55.10^9$	$N.m^2.C^{-2}$
Vitesse de la lumière dans le vide	$c$	$2,997\ 924\ 58.10^{-8}$	$m.s^{-1}$
Perméabilité du vide	$\mu_0$	$1,256\ 64.10^{-6}$	$T.m.A^{-1}$
Charge élémentaire	$e$	$1,602\ 18.10^{-19}$	$C$
Masse de l'électron	$m_e$	$9,109\ 39.10^{-31}$	$kg$
Masse du proton	$m_p$	$1,672\ 623.10^{-27}$	$kg$
Masse du neutron	$m_n$	$1,674\ 929.10^{-27}$	$kg$
Nombre d'Avogadro	$N_A$	$6,02.10^{23}$	$mol^{-1}$
Constante du gaz parfait	$R$	$8,314$	$J.mol^{-1}.K^{-1}$
Constante de Faraday	$F = N_A \cdot e$	$9,65.10^4$	$C.mol^{-1}$



**Montage :**

**Entrées :**

Voie  $Y_A$  : .....  DC

ou  $CH_1$  sensibilité : ..... /DIV  AC

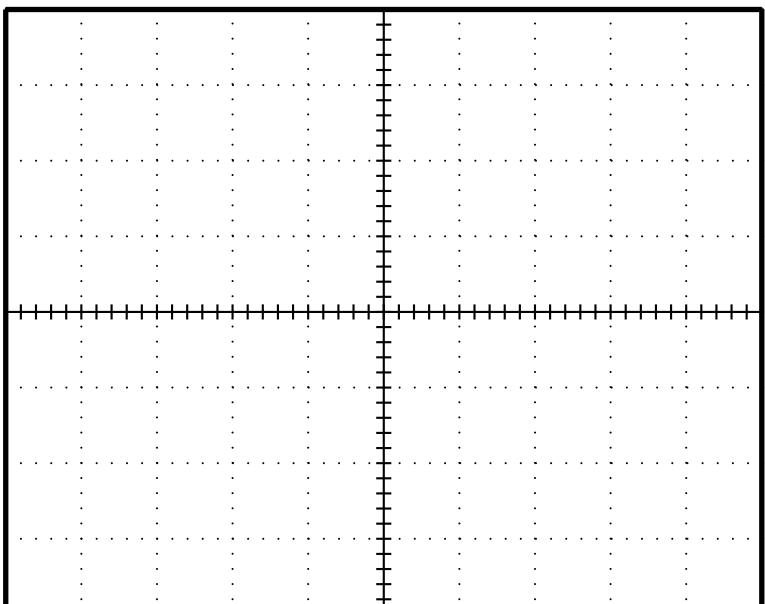
Voie  $Y_B$  : .....  DC

ou  $CH_2$  sensibilité : ..... /DIV  AC

**Mode :**

base de temps : ..... /DIV

mode XY



**Montage :**

**Entrées :**

Voie  $Y_A$  : .....  DC

ou  $CH_1$  sensibilité : ..... /DIV  AC

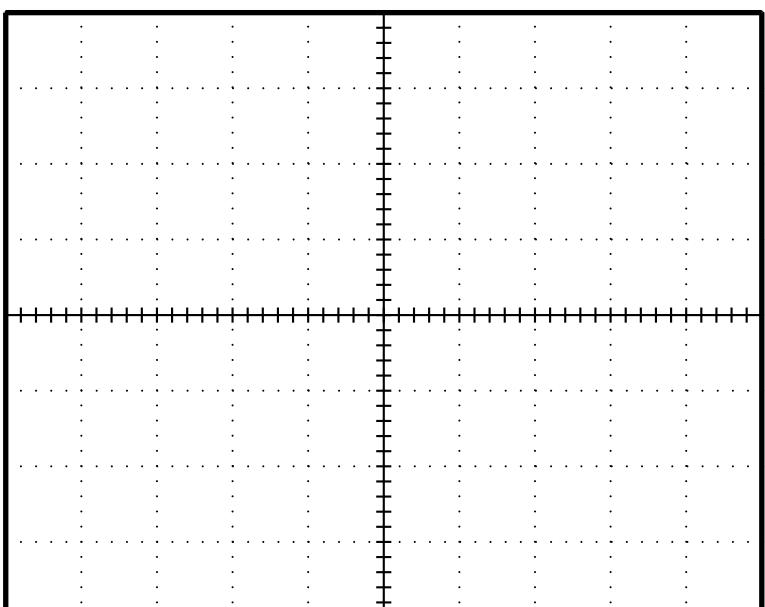
Voie  $Y_B$  : .....  DC

ou  $CH_2$  sensibilité : ..... /DIV  AC

**Mode :**

base de temps : ..... /DIV

mode XY



**Montage :**

**Entrées :**

Voie  $Y_A$  : .....  DC

ou  $CH_1$  sensibilité : ..... /DIV  AC

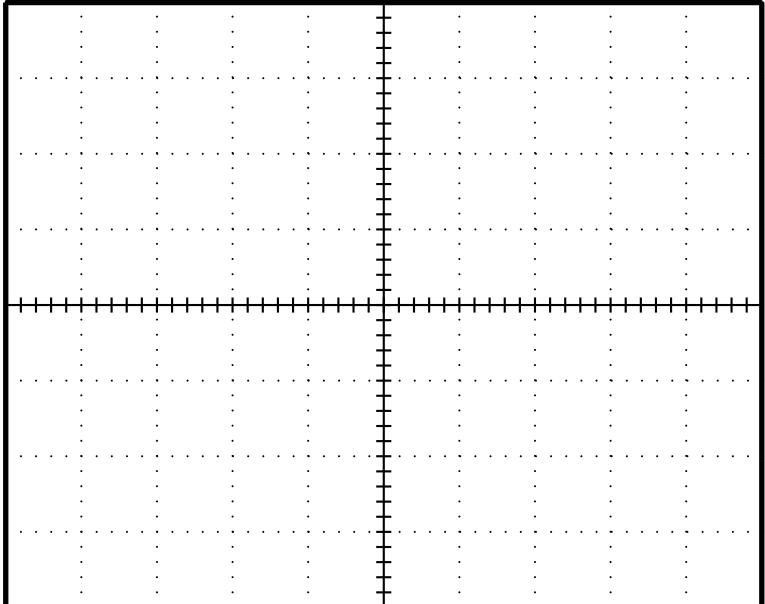
Voie  $Y_B$  : .....  DC

ou  $CH_2$  sensibilité : ..... /DIV  AC

**Mode :**

base de temps : ..... /DIV

mode XY



**Montage :**

**Entrées :**

Voie  $Y_A$  : .....  DC

ou  $CH_1$  sensibilité : ..... /DIV  AC

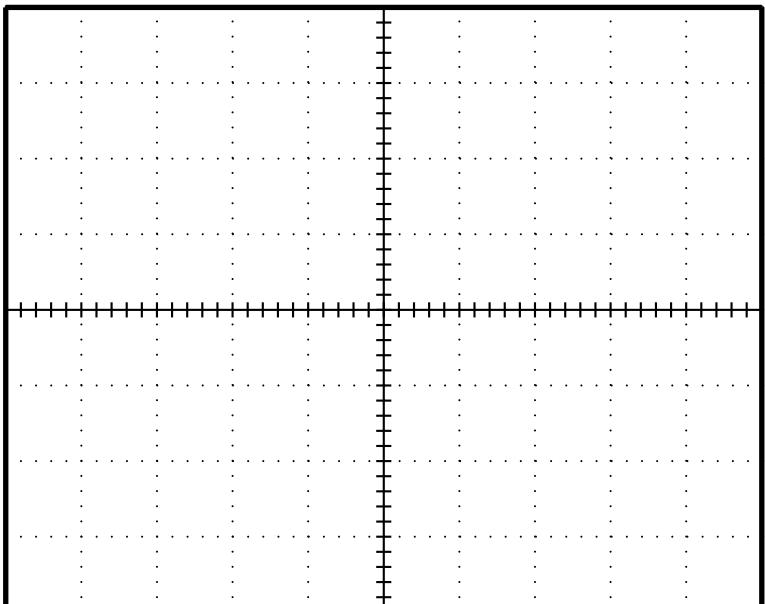
Voie  $Y_B$  : .....  DC

ou  $CH_2$  sensibilité : ..... /DIV  AC

**Mode :**

base de temps : ..... /DIV

mode XY



**Montage :**

**Entrées :**

Voie  $Y_A$  : .....  DC

ou  $CH_1$  sensibilité : ..... /DIV  AC

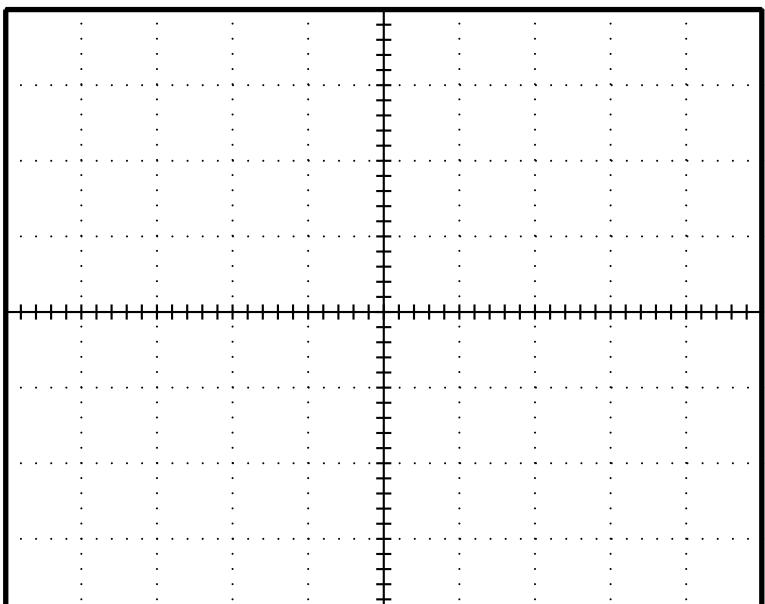
Voie  $Y_B$  : .....  DC

ou  $CH_2$  sensibilité : ..... /DIV  AC

**Mode :**

base de temps : ..... /DIV

mode XY



**Montage :**

**Entrées :**

Voie  $Y_A$  : .....  DC

ou  $CH_1$  sensibilité : ..... /DIV  AC

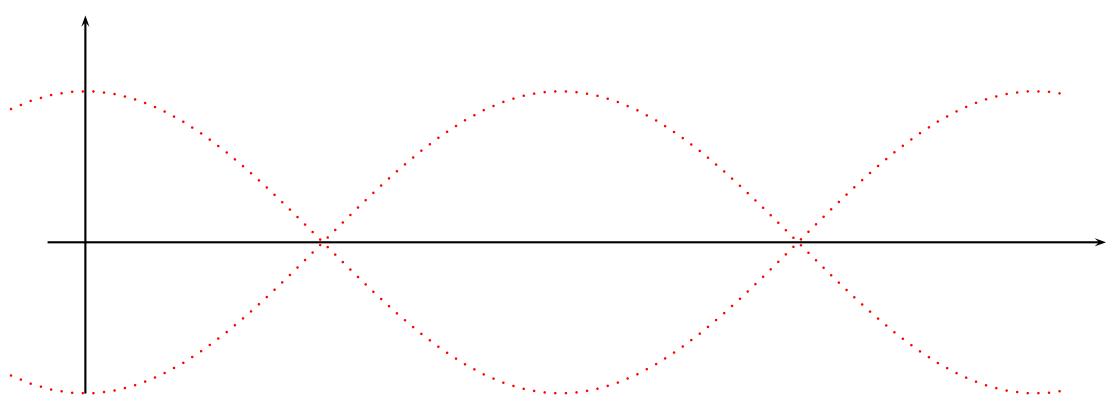
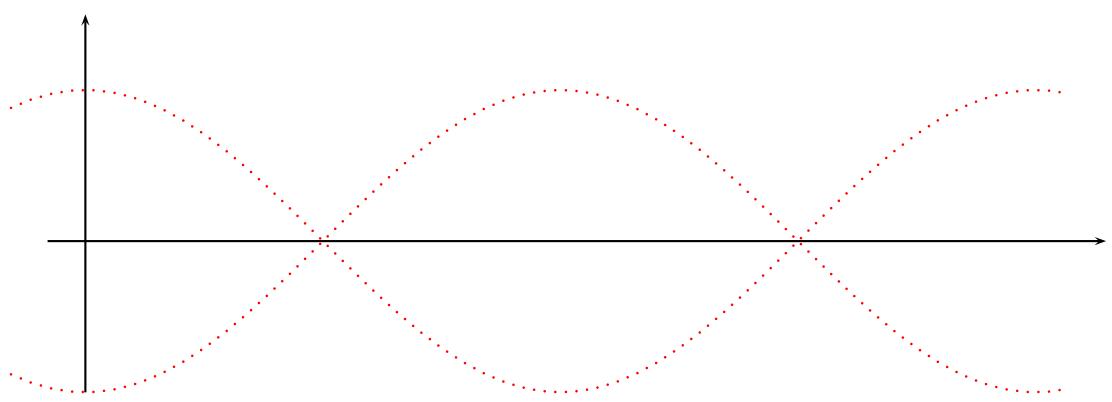
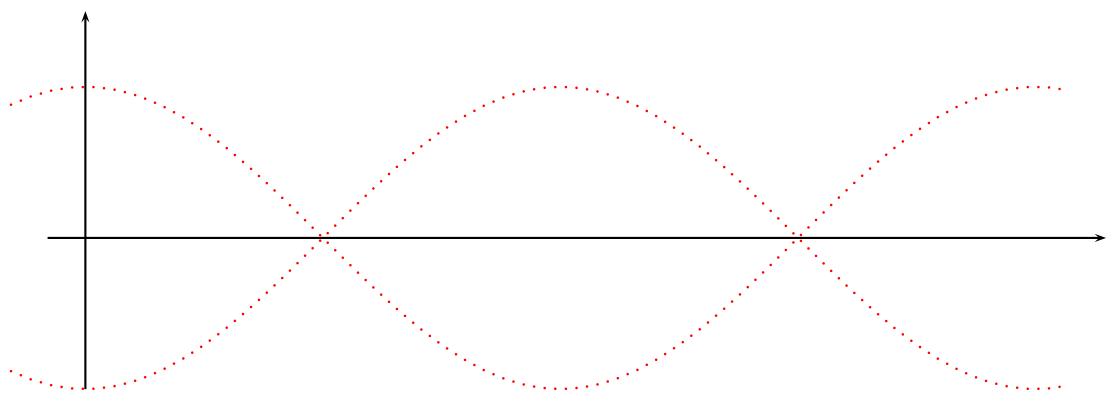
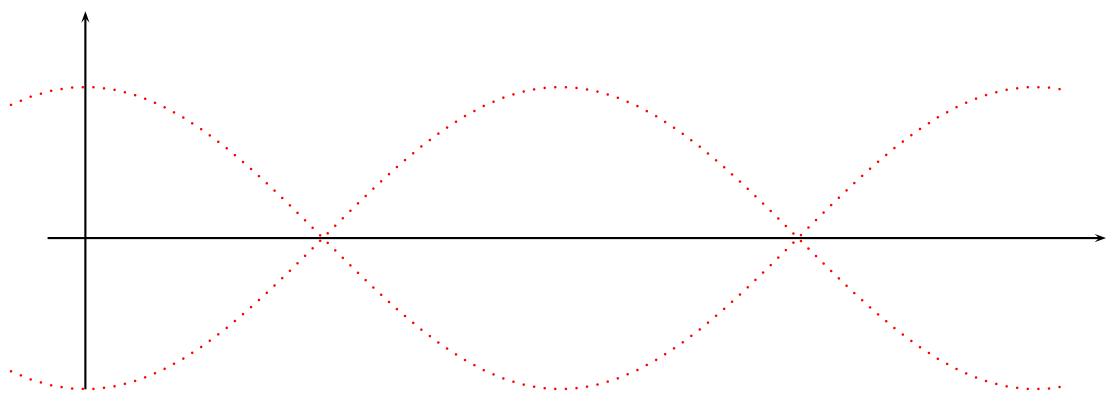
Voie  $Y_B$  : .....  DC

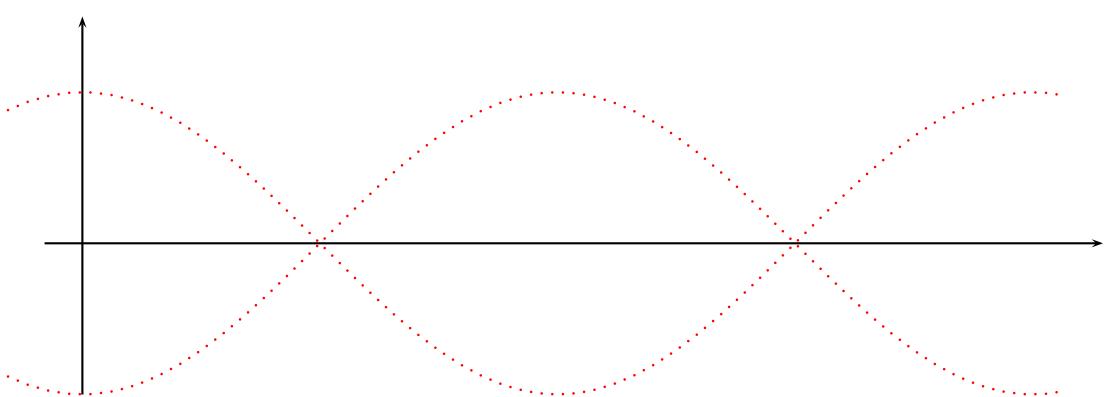
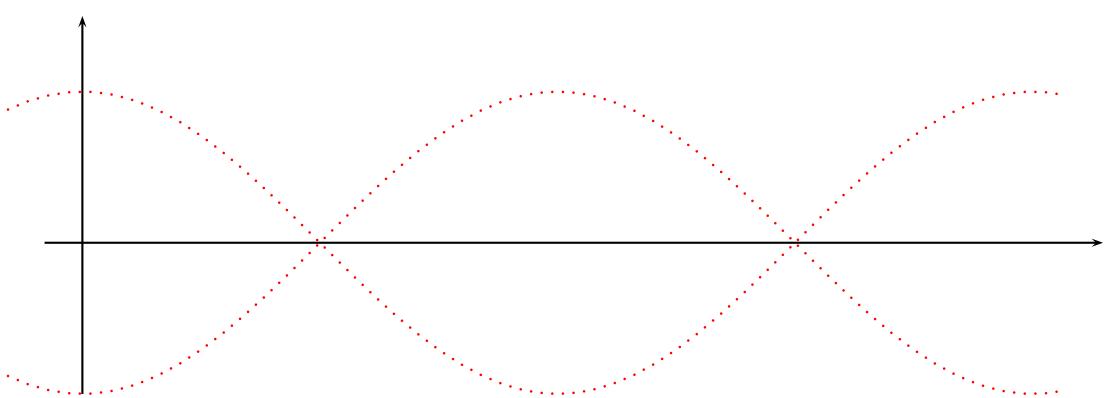
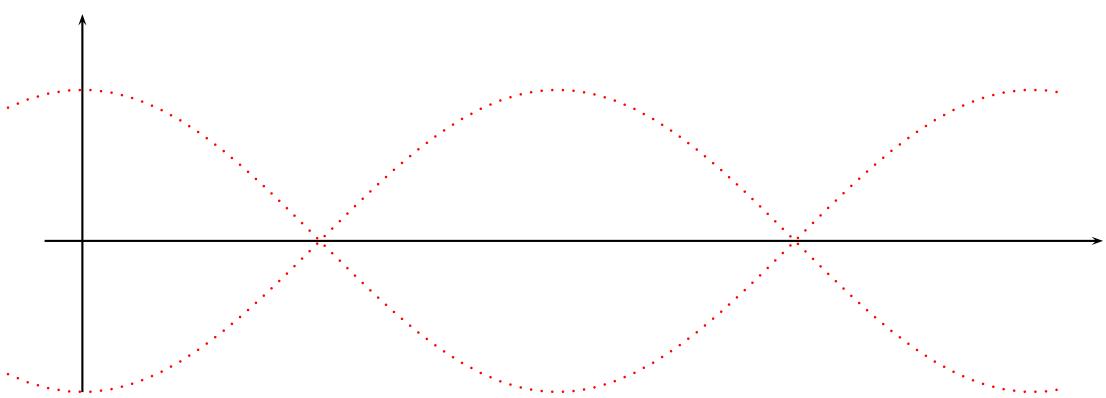
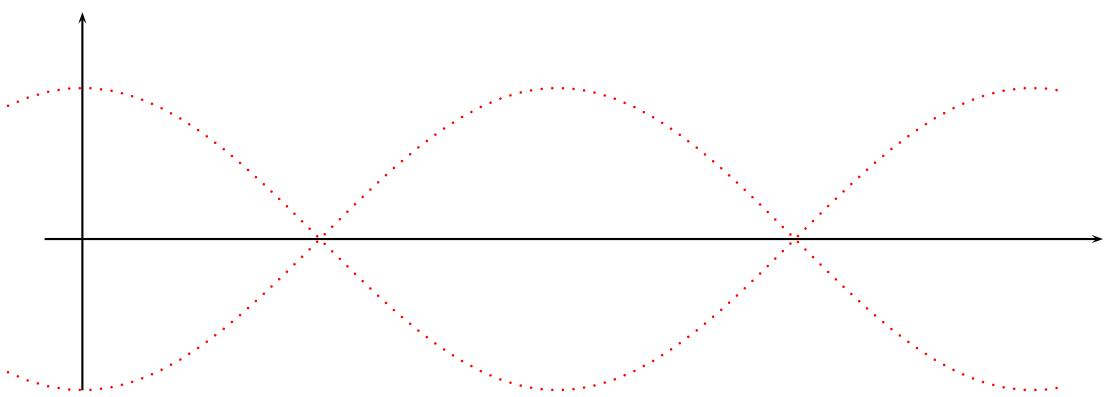
ou  $CH_2$  sensibilité : ..... /DIV  AC

**Mode :**

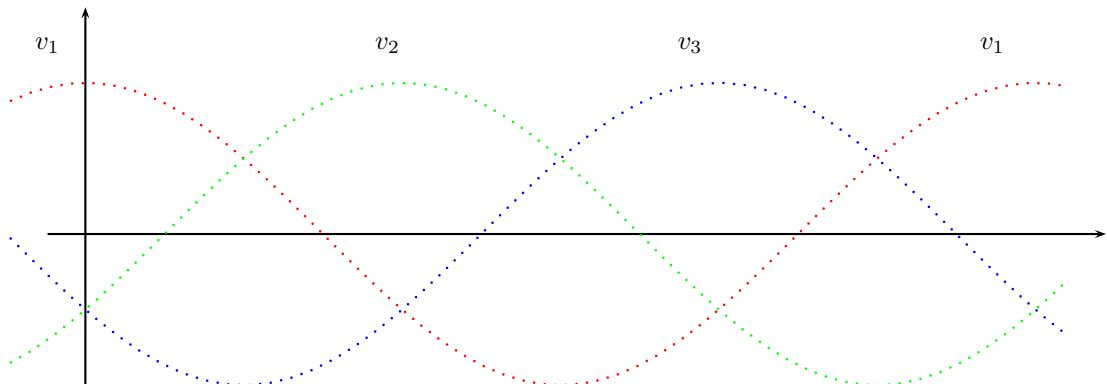
base de temps : ..... /DIV

mode XY

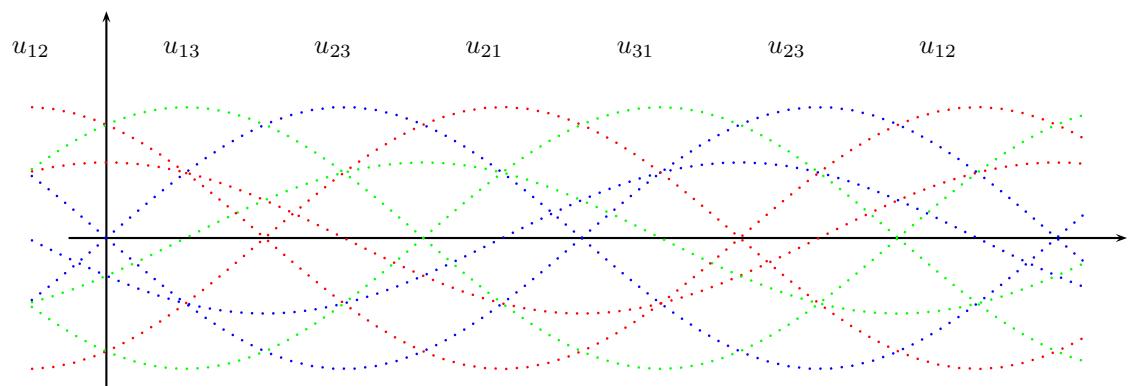




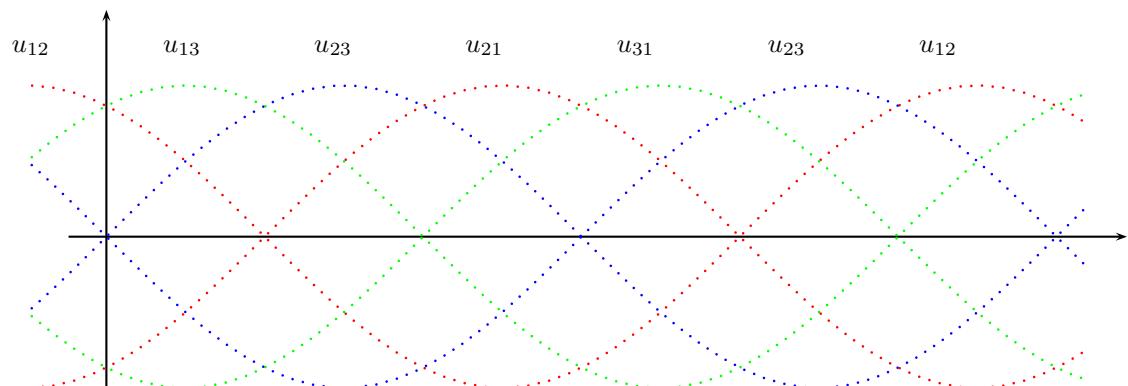
## Tensions simples



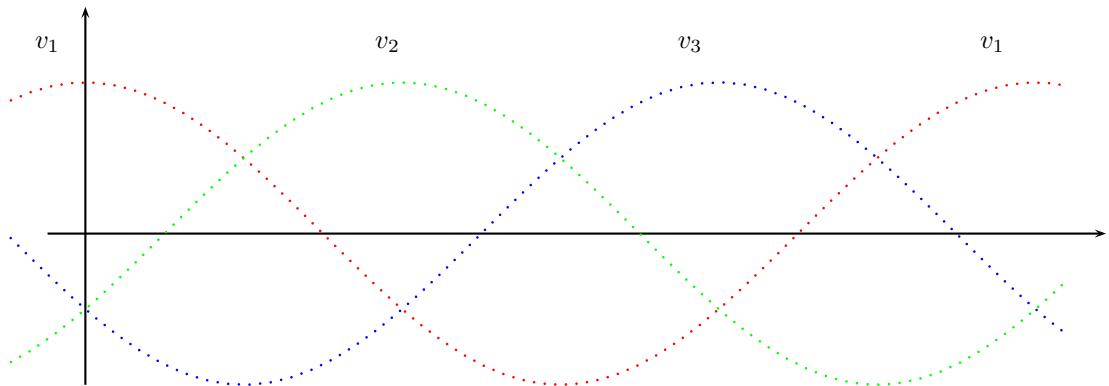
## Tensions simples et tensions composées



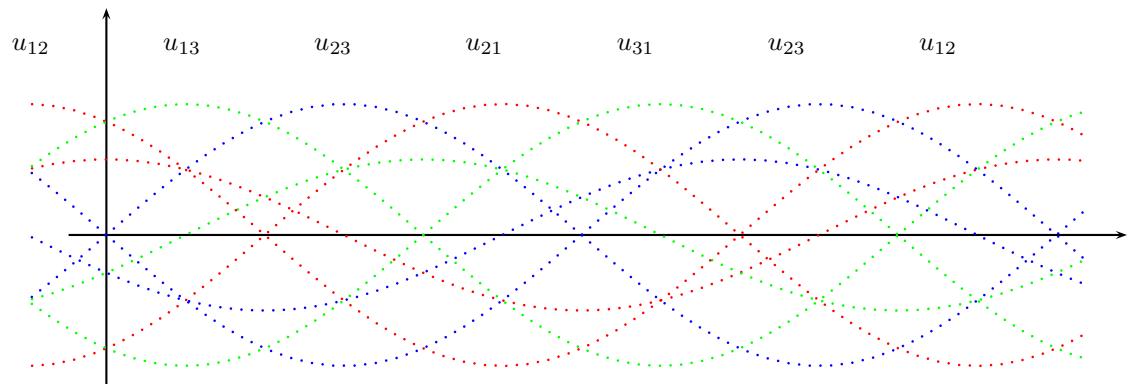
## Tensions composées



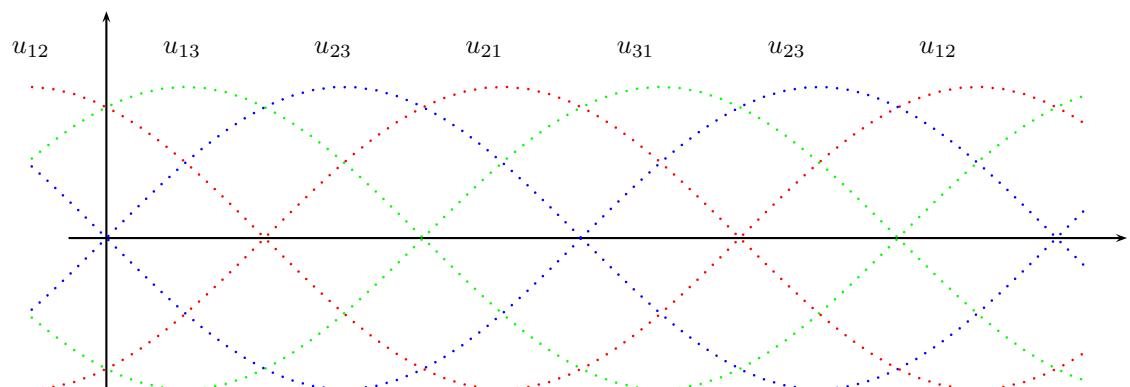
## Tensions simples



## Tensions simples et tensions composées



## Tensions composées



# Devoir Surveillé



# Devoir Surveillé n°

20

